

DIKTAT



MIKROBIOLOGI

OLEH

ULFAYANI MAYASARI, M.Si
NIP 198803032018012001

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATERA UTARA
2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan diktat mikrobiologi ini.

Terimakasih penulis sampaikan kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam pembuatan diktat ini. Penulis menyadari bahwa diktat ini masih jauh dari kesempurnaan untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat.

Medan, 2 Maret 2020
Penulis,

Ulfayani Mayasari, M.Si

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
BAB I	1
PENGANTAR MIKROBIOLOGI	1
1.1 Pengertian Mikrobiologi	1
1.2 Sejarah Perkembangan Mikrobiologi	1
1.3 Penggolongan mikroba diantara jasad hidup	4
1.4 Ciri Umum Mikroba	5
1.5 Peranan Mikrobiologi	5
BAB II	7
METODE DASAR MEMPELAJARI MIKROBIOLOGI	7
2.1 Teknik Dasar Mikrobiologi	7
2.2. Sterilisasi Dan Pembuatan Media	8
2.3. Media Pertumbuhan Mikroba	8
2.4. Teknik Isolasi Dan Pembenihan Mikroorganisme	10
2.5. Pewarnaan Mikroba	12
BAB III	14
MIKROORGANISME PROKARIOTIK DAN EUKARIOTIK	14
3.1. Sel Prokariotik	14
3.2. Sel Eukariotik	15
BAB IV	16
BAKTERI	16
4.1 Bakteri	16
4.2 Klasifikasi Bakteri	16
4.2.1 Bakteri berbentuk kokus (bulat)	16
4.2.2 Bakteri berbentuk batang	16
4.2.3 Bakteri berbentuk lengkung	18
4.2.4 Bakteri yang termasuk kelompok khusus	18
BAB V	20
FUNGI/ JAMUR	20
5.1. Morfologi Jamur	20

5..2	Perkembangbiakan jamur	20
5..3	Klasifikasi jamur	21
5..4	Identifikasi Jamur Benang	24
5.5	KHAMIR	24
BAB VI		26
PROTOZOA		26
BAB VII		29
VIRUS		29
7.1	Sejarah virus	29
7.2	Pengertian Virus	29
7.3	Bentuk dan Ukuran virus	30
7.4	Susunan Tubuh Virus	30
7.5	Pengembangbiakan Virus	31
7.6	Klasifikasi Virus	32
7.7	Peran Virus	33
7.8	Penyakit – Penyakit Akibat Virus	33
BAB VIII		40
NUTRISI DAN MEDIUM KULTUR MIKROBA		40
8.1	Fungsi Nutrisi Untuk Mikroba	40
8.2	Penggolongan Mikroba Berdasarkan Nutrisi Dan Oksigen	41
8.3	Interaksi Antar Jasad Dalam Menggunakan Nutrien	43
8.4	Medium Pertumbuhan Mikroba	43
8.5	Macam Medium Pertumbuhan	44
8.6	Fase-Fase Pertumbuhan Mikroorganisme	44
8.7	Kecepatan Pertumbuhan Mikroorganisme Dan Waktu Lipat Dua	46
8.8	Macam-Macam Metode Pengukuran Pertumbuhan Mikroorganisme	47
8.9	Faktor-Faktor Lingkungan Pertumbuhan Mikroorganisme	47
8.10.	Syarat Ideal Memilih Senyawa Antimikroba Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kerja Antimikroba	49
BAB IX		51
PENGENDALIAN MIKROORGANISME		51
9.1	Pengertian Pengendalian Mikroba	51
9.2	Metoda pengendalian Mikroba	51
9.2.1	Pengendalian Mikroba Secara Kimia	51
9.2.2	Pengendalian Mikroba Secara Fisik	53
BAB X		56
GENETIKA MIKROORGANISME		56

10.1	Pendahuluan	56
10.2	Sifat Dasar DNA	56
10.3	Transkripsi DNA dan Translasi RNA	58
BAB XI		59
MIKROORGANISME LINGKUNGAN DAN TERAPAN		59
11.1	Pendahuluan	59
11.2	Mikrobiologi Air	59
11.2.1	Mikrobiologi Air Tawar	60
11.3	Mikrobiologi Industri	63
11.3.1.	Peranan Mikroba Dalam Industri	64
11.3.2.	Strain Mikroorganisme Untuk Industri	65
11.3.3.	Produk Mikroorganisme Dalam Proses Industri	66
DAFTAR PUSTAKA		83

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Perbedaan Struktur Sel Prokariotik dan Eukariotik	14
Tabel 11.1. Kebutuhan Air per Kapita	59
Tabel 11.2. Uji IMVIC	61
Tabel 11.3. Kualitas Air Berdasarkan Jumlah Coliform	61
Tabel 11.4. Nilai Indeks Pencemar Biologis	62
Tabel 11.5. Koleksi biakan (kultur) yang menyediakan biakan mikroorganisme untuk industry	65
Tabel 11.6. Beberapa antibiotika yang dihasilkan secara komersial	72
Tabel 11.7. Klasifikasi antibiotika sesuai dengan struktur kimianya dan contoh antibiotika	73
Tabel 11.8. Asam amino yang digunakan pada industri makanan	76

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Teknik Aseptik Pemindahan Biakan Mikroorganisme	7
Gambar 2.2. Cara Pengambilan Sempel Air	11
Gambar 2.3. Pengenceran Bertingkat	11
Gambar 5.1. Siklus Reproduksi Basidiomycetes	23
Gambar 5.2. Jenis Jamur Sel khamir	24
Gambar 7.1. Bentuk Virus	30
Gambar 7.2. Struktur Tubuh Virus	30
Gambar 7.3. Replikasi Virus	32
Gambar 8.1. Pertumbuhan mikroba didalam media cair	42
Gambar 8.2. Kurva Pertumbuhan Mikroba	45
Gambar 8.3. Frekuensi Waktu Generasi pada berbagai mikroorganisme	46
Gambar 11.1 Perbandingan antara metabolit primer dengan sekunder	67
Gambar 11.2 Perbandingan metabolisme primer dengan metabolisme Sekunder	68
Gambar 11.3 Hubungan antara jalur metabolik primer untuk sintesis asam Amino aromatik dengan jalur metabolik sekunder untuk berbagai antibiotika	70
Gambar 11.4 Seluruh proses ekstraksi dan pemurnian antibiotic	74
Gambar 11.5 Oksidasi etanol menjadi asam asetat	79

BAB I

PENGANTAR MIKROBIOLOGI

1.1 Pengertian Mikrobiologi

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang mikroba, jasad renik. Mikrobiologi adalah salah satu cabang ilmu dari biologi, dan memerlukan ilmu pendukung kimia, fisika dan biokimia. Mikrobiologi sering disebut ilmu praktek dari biokimia. Dalam mikrobiologi diberikan pengertian dasar tentang sejarah penemuan mikroba, macam-macam mikroba di alam, struktur sel mikroba dan fungsinya, metabolisme mikroba secara umum, pertumbuhan mikroba dan faktor lingkungan, mikrobiologi terapan di bidang lingkungan dan pertanian.¹

1.2 Sejarah Perkembangan Mikrobiologi

Awal perkembangan ilmu mikrobiologi dimulai sejak ditemukan mikroskop. Dunia jasad renik baru ditemukan 300 tahun yang lalu. Penemu mikroskop pertama adalah Antony Van Leeuwenhoek (1632-1732), dia adalah seorang mahasiswa ilmu pengetahuan alam berkebangsaan Belanda yang memiliki hobi mengasah lensa. Mikroskop Leeuwenhoek mempunyai pembesaran hingga 300 kali. Dia menyebutkan adanya "*animalculus*" sebuah makhluk asing dari air yang dilihat dengan mikroskop buatannya. Kemudian penemuan Leeuwenhoek disampaikan kepada "*royal society*" di Inggris antara tahun (1674-1683) ia melaporkan hal-hal yang diamatinya kepada lembaga tersebut. Robert Hooke (1635-1703) sebagai salah seorang anggota "*Royal Society*", menyatakan bahwa penemuan Leeuwenhoek dalam mikroskop buatannya adalah protozoa, spora, jamur, dan sel tumbuhan.²

Beberapa pendapat tentang asal usul mikroba, Aristoteles berpendapat, bahwa makhluk-makhluk kecil itu terjadi begitu saja dari benda yang mati. Hal ini sependapat dengan Needham (1745-1750) mengadakan eksperimen dengan rebusan padi-padian, daging, dll. Hasil eksperimen bahwa meskipun air rebusan disimpan rapat-rapat dalam botol tertutup namun tetap timbul mikroorganisme. Berdasarkan eksperimen tersebut muncullah teori "*abiogenesis*" (a: tidak, bios: hidup, genesis: kejadian); artinya kehidupan baru timbul dari benda mati atau mikroba tersebut timbul dengan sendirinya dari benda-benda mati. Teori "*abiogenesis*" disebut juga dengan teori generatio spontanea (makhluk-makhluk baru terjadi begitu saja). Beberapa ahli yang menolak teori abiogenesis diantaranya Spallanzani (1729-1799), melakukan eksperimen dengan merebus air daging tersebut ditutupnya rapat-rapat dalam botol, hasilnya tidak diperoleh mikroorganisme baru. Eksperimen Spallanzani dilanjutkan oleh Schulze pada tahun 1836 melalui eksperimen dengan mengalirkan udara lewat pipa yang dipanasi, kemudian hasilnya tidak diperoleh mikroorganisme. Muncul ilmuwan baru dari Francis Louis Pasteur (1822-1895), seorang ahli kimia yang menaruh perhatian

¹ Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, Dasar-Dasar Mikrobiologi, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta.

² Pratiwi, T. Silvia . 2008. Mikrobiologi Farmasi. Yogyakarta. Erlangga.

pada mikroorganisme. Pasteur melakukan serangkaian eksperimen dengan menggunakan bejana leher angsa. Bejana ini diisi dengan kaldu kemudian dipanaskan. Udara dapat dengan bebas melewati pipa leher angsa tersebut tetapi tidak ditemukan adanya mikroorganisme di kaldu. Dalam hal ini mikroba beserta debu/asap akan mengendap pada bagian tabung yang berbentuk U sehingga tidak dapat mencapai kaldu Pasteur menemukan bahwa mikroorganisme terbawa debu oleh udara dan ia menyimpulkan bahwa semakin bersih/murni udara yang masuk ke dalam bejana, semakin sedikit kontaminasi yang terjadi. Pasteur dapat meyakinkan bahwa kehidupan baru tidak timbul dari benda mati, maka disimpulkan dengan *Omne vivum ex ovo, omne ex vivo*; yang berarti “semua kehidupan berasal dari telur dan semua telur berasal dari sesuatu yang hidup”. Pendapat demikian juga dikenal dengan teori *biogenesis* artinya makhluk hidup berasal dari makhluk hidup.³

Berdasarkan penemuannya maka Louis Pasteur dikenal sebagai seorang pelopor mikrobiologi. Penemuan Louis Pasteur adalah: 1) udara mengandung mikroba yang pembagiannya tidak merata, 2) cara pembebasan cairan dan bahan-bahan dari mikroba dikenal sebagai sterilisasi.

Pendukung teori abiogenesis diantara Francisco Redi (1665), memperoleh hasil dari percobaannya bahwa ulat yang berkembang biak di dalam daging busuk, tidak akan terjadi apabila daging tersebut disimpan di dalam suatu tempat tertutup yang tidak dapat disentuh oleh lalat. Jadi dapat disimpulkan bahwa ulat tidak secara spontan berkembang dari daging. Percobaan lain yang dilakukan oleh Lazzaro Spallanzani memberi bukti kuat bahwa mikroba tidak muncul dengan sendirinya, pada percobaan menggunakan kaldu ternyata pemanasan dapat menyebabkan animalculus tidak tumbuh. Percobaan ini juga dapat menunjukkan bahwa perkembangan mikroba di dalam suatu bahan, dalam arti terbatas menyebabkan terjadinya perubahan kimiawi pada bahan tersebut.

Pada pertengahan abad 19 sampai abad 20 perkembangan mikrobiologi dengan dimulai penelitian oleh Pasteur, Robert Koch, dan Serge Winogradsky. Pasteur (1822-1895), yang mengawali pemisahan kristal asam tartarat kedalam isomer bayangan lensa. Isomer bayangan lensa adalah senyawa yang menyerupai rumus kimia yang pasti, tetapi tidak memiliki konfigurasi. Kemudian Pasteur tertarik pada industri minuman anggur dan perubahan yang terjadi selama fermentasi. Salah satu prosesnya melalui pasteurisasi, dimana pasteurisasi merupakan suatu proses pemanasan bertahap cairan dengan yang digunakan dalam mikrobiologi untuk membantu dalam proses pembuatan anggur. Pasteurisasi adalah cara untuk mematikan beberapa jenis mikroba tertentu dengan menggunakan uap air panas, suhunya kurang lebih 62⁰ C.

Fermentasi merupakan proses yang menghasilkan alkohol atau asam organik, misalnya terjadi pada bahan yang mengandung karbohidrat. Secara fisiologis adanya fermentasi dapat digunakan untuk mengetahui beberapa hal. Di dalam proses fermentasi, kapasitas mikroba untuk mengoksidasi tergantung dari jumlah acceptor elektron terakhir yang dapat dipakai. Sel-sel melakukan fermentasi menggunakan enzim-enzim yang akan mengubah hasil dari reaksi oksidasi, dalam

³ Pratiwi, T. Silvia . 2008. Mikrobiologi Farmasi. Yogyakarta. Erlangga.

hal ini asam menjadi senyawa yang memiliki muatan positif, sehingga dapat menangkap elektron terakhir dan menghasilkan energi.⁴

Oksigen umumnya diperlukan mikroba sebagai agensia untuk mengoksidasi senyawa organik menjadi CO₂. Reaksi oksidasi dikenal sebagai “respirasi aerob”, yang menghasilkan tenaga untuk kehidupan jasad dan pertumbuhannya. Mikroba lain dapat memperoleh tenaga dengan jalan memecahkan senyawa organik secara fermentasi anaerob, tanpa memerlukan oksigen. Beberapa jenis mikroba bersifat obligat anaerob atau anaerob sempurna. Jenis lain bersifat fakultatif anaerob, yaitu mempunyai dua mekanisme untuk mendapatkan energi. Apabila ada oksigen, energi diperoleh secara respirasi aerob, apabila tidak ada oksigen energi diperoleh secara fermentasi anaerob. Pasteur mendapatkan bahwa respirasi aerob adalah proses yang efisien untuk menghasilkan energi.

Pendapat tersebut ditantang oleh Bernard (1875), bahwa khamir dapat memecahkan gula menjadi alkohol dan CO₂ karena mengandung katalisator biologis dalam selnya. Katalisator biologis tersebut dapat diekstrak sebagai larutan yang tetap dapat menunjukkan kemampuan fermentasi, sehingga fermentasi dapat dibuat sebagai proses yang tidak vital lagi (tanpa sel). Tahun 1897, Buchner dapat membuktikan gagasan Bernard, yaitu pada saat mengerus sel khamir dengan pasir dan ditambahkan sejumlah besar gula, dari campuran tersebut terlihat dibebaskan CO₂ dan sedikit alkohol. Penemuan ini membuka jalan ke perkembangan biokimia modern. Akhirnya dapat diketahui bahwa pembentukan alkohol dari gula oleh khamir, merupakan hasil urutan beberapa reaksi kimia, yang masing-masing dikatalisir oleh biokatalisator yang spesifik atau yang dikenal sebagai enzim. Kata “enzim” berasal dari Yunani yang artinya “didalam sel”. Enzim didefinisikan sebagai fermen yang bentuknya tidak tertentu dan tidak teratur, yang dapat bekerja tanpa adanya mikroba, dan dapat bekerja di luar mikroba. Definisi tersebut diambil dari sebuah kesimpulan eksperimen dimana bila ragi atau khamir ditambahkan atau dimasukkan ke dalam larutan glukosa atau gula anggur, ternyata gula yang diubah menjadi alkohol dan karbondioksida, daya kerja katalitik enzim tidak masuk ke dalam reaksi kimia dengan senyawa yang terlibat.

Pasteur juga mengembangkan vaksin untuk kolera ayam, rabies dan antraks, yang disebabkan oleh bakteri *Bacillus anthracis*. Vaksin berasal dari bahasa Latin yaitu *vacca* yang artinya sapi, dan imunisasi dengan biakan bakteri yang diatenuasi disebut vaksinasi.

Salah seorang pakar mikrobiologi yang bernama Robert Koch (1843-1910), beliau adalah perintis microbial teknik kultur atau biakan murni. Koch membuktikan bahwa mikroba menyebabkan penyakit tertentu. Proses ini kemudian dikembangkan lebih lanjut sebagai hubungan penyebab dan pengaruh yang dinamakan Postulat Koch. Postulat Koch sebagai berikut:

1. Mikroorganisme tertentu selalu dapat dijumpai sebagai penyebab penyakit
2. Mikroorganisme dapat diisolasi dan ditumbuhkan menjadi biakan murni di laboratorium.
3. Biakan murni dapat menimbulkan penyakit jika diinokulasi pada inang.
4. Mikroorganisme dapat kembali menginfeksi inang dan tumbuh lagi pada biakan murni.⁵

⁴ Lestari, Purwaning. 2017. Mikrobiologi Berbasis Inkuiri. Malang. Gunung Samudra.

⁵ Madigan *et al.* 2017. Brock Biologi Mikroorganisme. 14th edition. Penerbit Buku kedokteran EGC

Meskipun ada kelemahannya, tetapi postulat-postulat ini tetap digunakan sebagai prosedur rutin pada bakteriologi modern, karena itulah Robert Koch dikenal sebagai bapak bakteriologi modern. Beberapa mikroorganisme tidak dapat diisolasi dan ditumbuhkan pada biakan murni, Misalnya basil tipus (*Salmonella typhosa*) dapat diipara murni, tetapi hasil yang diambil dari iparaan murni itu tidak mampu menimbulkan patogenitas pada hewan yang sehat.

Pada tahun 1872-1912 Joseph Lister, seorang ahli bedah Inggris mencari cara menjauhkan mikroba dari luka dan torehan dengan cara menggunakan asam karbolat (fenol) untuk meredam perlengkapan bedah dan menyemprot ruang bedah. Luka yang dilindungi dengan cara ini jarang terkena infeksi dan cepat sembuh. Dengan berhasilnya teknik tersebut sampai saat ini yang mendasari prinsip teknik aseptik masa kini yang digunakan untuk mencegah masuknya mikroba ke dalam luka.

Mengenai perkembangan mikrobiologi dapat disimpulkan, bahwa mikrobiologi maju dengan pesatnya, setelah:

1. Penemuan serta penyempurnaan mikroskop
2. Jatuhnya teori abiogenesis
3. Orang yakin bahwa pembusukan disebabkan oleh mikroorganisme
4. Telah dibuktikan bahwa penyakit disebabkan oleh bibit penyakit.

1.3 Penggolongan mikroba diantara jasad hidup

Secara klasik jasad hidup digolongkan menjadi dunia tumbuhan (plantae) dan hewan (animalia). Jasad hidup yang ukuran besar dengan mudah dapat digolongkan ke dalam plantae atau animalia, tetapi mikroba yang ukurannya sangat kecil ini sulit untuk digolongkan ke dalam plantae atau animalia. Selain, karena ukurannya, sulit penggolongan juga disebabkan adanya mikroba yang mempunyai sifat plantae dan animalia.

Menurut teori evolusi, setiap jasad akan berkembang menuju ke sifat plantae atau animalia. Hal ini digambarkan sebagai pengelompokan jasad berturut-turut oleh Haeckel, Whittaker, dan Woese. Berdasarkan perbedaan organisasi selnya, Haeckel membedakan dunia tumbuhan (plantae) dan dunia binatang (animalia), dengan protista.

Protista untuk menampung jasad yang tidak dapat dimasukkan pada golongan plantae dan animalia. Protista terdiri dari algae/ ganggang, protozoa, jamur atau fungi, dan bakteri yang mempunyai sifat uniseluler, sonositik atau multiseluler tanpa berdiferensiasi jaringan.

Whittaker membagi jasad hidup menjadi tiga tingkat perkembangan, yaitu:

1. Jasad prokariotik yaitu bakteri dan ganggang biru (divisio Monera)
2. Jasad eukariotik uniseluler yaitu algae sel tunggal, khamir dan protozoa (Divisio Protista)
3. Jasad eukariotik multiseluler dan multinukleat yaitu Divisio Fungi, Divisio Plantae, dan Divisio Animalia.

Sedangkan Woese menggolongkan jasad hidup terutama berdasarkan susunan kimia makromolekul yang terdapat di dalam sel. Pembagiannya yaitu terdiri archaeobacteria, eukaryota (protozoa, fungi, tumbuhan, dan hewan) dan eubacteria.

1.4 Ciri Umum Mikroba

Mikroba di alam secara umum berperan sebagai produsen, konsumen, maupun reducen. Jasad produsen menghasilkan bahan organik dari bahan anorganik dengan energi sinar matahari. Mikroba yang berperan sebagai produsen adalah algae dan bakteri fotosintetik. Jasad konsumen menggunakan bahan organik yang dihasilkan oleh produsen. Contoh mikroba konsumen adalah protozoa. Jasad reducen menguraikan bahan organik dan sisa-sisa jasad hidup yang mati menjadi unsur-unsur kimia (mineralisasi bahan organik), sehingga di alam terjadi siklus unsur-unsur kimia. Contoh mikroba reducen adalah bakteri dan jamur (fungi).

Sel mikroba yang ukurannya sangat kecil ini merupakan satuan struktur biologi. Banyak mikroba yang terdiri dari satu sel saja (uniseluler), sehingga semua tugas kehidupannya dibebankan pada sel itu. Mikroba ada yang mempunyai banyak sel (multiseluler). Pada jasad multiseluler umumnya sudah terdapat pembagian tugas diantara sel atau kelompok selnya, walaupun organisasi selnya belum sempurna.

Setelah ditemukan mikroskop elektron, dapat dilihat struktur halus di dalam sel hidup, sehingga diketahui menurut perkembangan selnya terdapat dua tipe jasad, yaitu:

1. Prokariota (jasad prokariotik/ primitif), yaitu jasad yang perkembangan selnya belum sempurna.
2. Eukariota (jasad eukariotik), yaitu jasad yang perkembangan selnya telah sempurna.

Selain yang bersifat seluler, ada mikroba yang bersifat nonseluler, yaitu virus. Virus adalah jasad hidup yang bersifat parasit obligat, berukuran super kecil atau submikroskopik. Virus hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Struktur virus terutama terdiri dari bahan genetik. Virus bukan berbentuk sel dan tidak dapat membentuk energi sendiri serta tidak dapat berbiak tanpa menggunakan jasad hidup lain.

1.5 Peranan Mikrobiologi

Di dalam mikrobiologi pertanian, sarjana-sarjana seperti; Schlosing dan Muntz (Perancis, 1873), *Hellrieger dan Wilfarth* (Jerman, 1887), *Winogradsky* (Rusia, 1889), *Beyerinck* (Belanda, 1890) menemukan bakteri yang dapat menyusun nitrat dari amonia dari persenyawaan yang organik. *Walksman* (Amerika Serikat, 1940) terkenal ia menemukan *Streptomyces*, suatu mikroorganisme tanah yang menghasilkan streptomisin.

Di dalam *bakteriologi kedokteran* seorang ahli bernama *Varro* bangsa Romawi, mempunyai pendapat bahwa penyakit tertentu itu disebabkan oleh sesuatu yang dibawa oleh udara yang masuk ke dalam tubuh manusia melali mulut atau hidung.

Holmes (1843) dan *Semmelweis* (1947) berpendapat bahwa tangan atau alat yang digunakan oleh dokter yang menolong bayi lahir atau oleh dokter mengadakan pembedahan itu perlu sekali didesinfeksi terlebih dulu agar supaya tidak membawakan bibit penyakit kepada pasien.

Pollender (1843) dan *Davaine* (1850) menemukan adanya mikroorganisme di dalam darah ternak yang menderita anthrax, sedang darah yang mengandung

mikroorganisme tersebut dapat menjangkiti ternak yang sehat. *Brauell* (1857) berhasil pula menularkan penyakit anthrax kepada ternak yang sehat dengan jalan inokulasi. Pesatnya kemajuan bakteriologi kedokteran dari hasil penelitian *Robert Koch* dalam mengadakan piaraan murni. Pencegahan penyakit dengan menggunakan *vaksin* (bibit penyakit yang sudah dilemahkan) serta pengobatan dengan berbagai macam serum (serum adalah plasma darah yang dalam hal ini mengandung zat penolak).

Secara spesifik manfaat mikroorganisme diantaranya sebagai berikut:

1. Penggunaan mikroba dibidang pembuatan makanan seperti khamir untuk membuat anggur dan roti, bakteri asam laktat untuk yogurt dan kefir, bakteri asam asetat untuk vinegar, jamur *Aspergillus sp.* Untuk kecap dan jamur *Rhizopus sp.* untuk tempe.
2. Penggunaan mikroba dibidang kedokteran untuk produksi *Penicillium sp.* streptomisin oleh actinomycetes *Streptomyces sp.*
3. Penggunaan mikroba untuk proses-proses baru misalnya karotenoid, dan steroid oleh jamur, asam glutamat oleh mutan *Corynebacterium glutamicum* pembuatan enzim amilase, proteinase, pektinase, dll
4. Penggunaan mikroba dalam teknik genetika modern seperti untuk pemindahan gen dari manusia, binatang, atau tumbuhan ke dalam sel mikroba, penghasilan hormon, antigen, antibodi dan senyawa lain misalnya insulin, interferon, dll.
5. Penggunaan mikroba di bidang pertanian, misalnya untuk pupuk hayati (*biofertilizer*), biopeptisida, pengomposan dan sebagainya.
6. Penggunaan mikroba di bidang pertambangan seperti untuk proses leaching di tambang emas, desulfurisasi batubara maupun untuk proses penambangan minyak bumi.
7. Penggunaan mikroba di bidang lingkungan, misalnya untuk mengatasi pencemaran limbah organik maupun anorganik termasuk logam berat dan senyawa xenobiotik.⁶

⁶ Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, Dasar-Dasar Mikrobiologi, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta.

BAB II

METODE DASAR MEMPELAJARI MIKROBIOLOGI

2.1 Teknik Dasar Mikrobiologi

Ada beberapa teknik dasar di dalam analisa mikrobiologi yang harus diketahui, meliputi: teknik transfer aseptis, teknik agar slants (agar miring), turbiditas media broth (pengukuran kaldu), teknik dilusi (pengenceran), teknik pour-plate (lempeng tuang), teknik spread plate (lempeng sebar), teknik streak plate (lempeng gores).

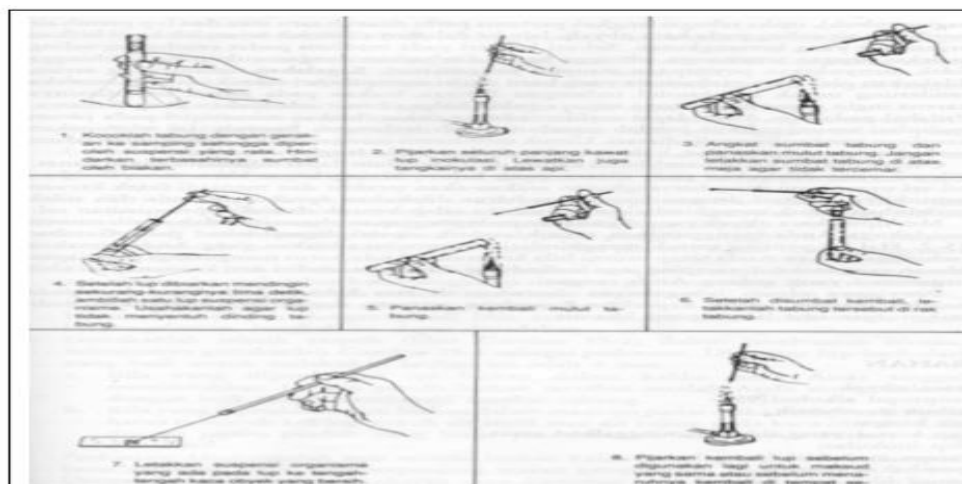
a. Teknik Transper Aseptis

Salah satu metode dalam mikrobiologi adalah kerja secara steril. Kerja secara steril dan aseptis sangat penting diperhatikan dalam melakukan praktikum atau penelitian di laboratorium mikrobiologi. Kerja secara steril bekerja pada kondisi terbebas dari semua bentuk hidup mikroorganisme, termasuk endospora bakteri. Kerja secara aseptis juga bekerja pada kondisi terbebas dari serangan agen infeksi yang dapat menginfeksi jaringan atau material yang steril.

Teknik aseptik ini bermanfaat untuk mencegah terjadinya kontaminasi mikroorganisme yang tidak diinginkan pada kultur biakan murni. Sebelum melakukan proses pembuatan kultur biakan murni, seluruh peralatan yang digunakan harus dalam keadaan steril. Selanjutnya alat-alat yang telah steril tersebut digunakan dan ditangani berdasarkan teknik aseptik untuk meminimalisir peluang masuknya mikroorganisme jenis lain ke dalam kultur biakan murni.⁷

Dari dalam teknik transfer aseptis ada beberapa teknik yang harus dipahami yaitu:

- Inoculating (inokulasi) dengan jarum ose.
- Pipetting (mentransfer dengan pipet)
- Alkohol flammings (mentransfer dengan folsep yang dibakar dengan alkohol).



Gambar 2.1. Teknik aseptik pemindahan biakan mikroorganisme

⁷ Hadioetomo, R. S. 1993. Mikrobiologi Dasar dalam Praktek : Teknik dan Prosedur Dasar Laboratorium. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 163 hal

2.2. Sterilisasi Dan Pembuatan Media

Satu tahapan penting yang harus dilakukan dan merupakan aturan standar selama melaksanakan praktikum atau kerja mikrobiologi adalah **sterilisasi**. Sterilisasi adalah suatu proses pembebasan suatu bahan atau alat dari semua bentuk organisme hidup. Sterilisasi dapat dilakukan tergantung dari bahan atau alat yang akan disteril. Sterilisasi dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu:

Macam-macam Sterilisasi

Sterilisasi dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu cara mekanik, cara fisik, dan cara kimiawi.

1. Sterilisasi cara mekanik (filtrasi) menggunakan suatu saringan yang berpori sangat kecil (0.22 mikron atau 0.45 mikron) sehingga mikroba tertahan pada saringan tersebut. Proses ini ditujukan untuk sterilisasi bahan yang peka panas, misalnya larutan enzim dan antibiotik. Sterilisasi secara fisik dapat dilakukan dengan pemanasan dan penyinaran.

a. Pemanasan

- Pemijaran (dengan api langsung): membakar alat pada api secara langsung, contoh alat: jarum inokulum (jarum ose), pinset, batang L.
- Panas kering: sterilisasi dengan oven kira-kira 60-180°C. Sterilisasi panas kering cocok untuk alat yang terbuat dari kaca, misalnya erlenmeyer, tabung reaksi, cawan.
- Uap air panas: konsep ini mirip dengan mengukus. Bahan yang mengandung air lebih tepat menggunakan metode ini supaya tidak terjadi dehidrasi.
- Uap air panas bertekanan: menggunakan autoklaf.

b. Penyinaran dengan Ultra Violet (UV)

Sinar UV juga dapat digunakan untuk proses sterilisasi, misalnya untuk membunuh mikroba yang menempel pada permukaan interior *Safety Cabinet* dengan disinari lampu UV.

2. Sterilisasi secara kimiawi biasanya menggunakan senyawa desinfektan, antara lain alkohol.

2.3. Media Pertumbuhan Mikroba

Medium adalah suatu bahan yang terdiri atas campuran nutrisi yang dipakai untuk menumbuhkan mikroba. Selain untuk pembuatan mikroba, medium dapat pula digunakan untuk melakukan isolasi, memperbanyak, pengujian sifat-sifat fisiologi dan perhitungan mikroba. Dalam proses pembuatan media harus disterilisasi dan menerapkan metode aseptis untuk menghindari kontaminasi pada media.⁸

Media adalah suatu substrat untuk menumbuhkan bakteri yang menjadi padat dan tetap tembus pandang pada suhu inkubasi. Sedangkan medium adalah suatu bahan nutrisi tempat menumbuhkan bakteri di laboratorium.

⁸ Nurohaianah, 2007. Media . Jakarta : UI Press. 266 hal.

Macam-macam Media Pertumbuhan

Media pertumbuhan mikroba dapat dibedakan berdasarkan sifat fisiknya, komposisi media dan tujuan kegunaannya.

Berdasarkan sifat fisiknya media pertumbuhan dapat dibedakan atas 3 yaitu:

- a) Media padat: media yang komposisinya agar 15 % sehingga setelah dingin media menjadi padat.
- b) Media setengah padat : media yang komposisi agarnya 0,3-0,4% sehingga menjadi sedikit kenyal, tidak padat, tidak begitu cair. Media semi solid dibuat dengan tujuan: 1) supaya pertumbuhan mikroba dapat menyebar ke seluruh media, tetapi tidak mengalami pencampuran sempurna jika tergoyang. Misalnya, bakteri yang tumbuh pada media Nitrogen free Bromthymol Blue (NfB) semisolid akan membentuk cincin hijau kebiruan di bawah permukaan media jika media ini cair maka cincin ini dapat dengan mudah hancur. 2) untuk mencegah/menekan difusi oksigen, misalnya pada media Nitrate Broth, kondisi anaerob atau sedikit oksigen meningkatkan metabolisme nitrat, tetapi bakteri ini juga diharuskan tumbuh merata di seluruh media
- c) Media cair: media yang tidak mengandung agar contohnya nutrient broth (NB), lactose broth (LB)

Berdasarkan komposisinya medium pertumbuhan dikelompokkan dalam:

- a) Medium sintesis yaitu; media yang komposisi zat kimianya (glukosa, agar, dll) diketahui secara jelas dan pasti; misalnya Glucose Agar, Mac Conkey Agar.
- b) Medium semi sintesis yaitu; media yang sebagian komposisinya diketahui secara pasti contoh PDA yang terdiri dari agar, dekstroza, dan ekstra kentang (ekstra kentang tidak diketahui apa komposisi senyawanya).
- c) Medium non sintesis yaitu; medium yang dibuat langsung dari bahan dasarnya dengan komposisi yang tidak dapat diketahui secara pasti. Contoh: tomato juice agar, Brain Heart Infusion Agar, Pancreatic Extract.

Berdasarkan tujuan penggunaannya:

- a) Media untuk isolasi; umumnya media yang mengandung semua unsur esensial untuk pertumbuhan; contoh: NA

Medium Selektif; medium yang selain mengandung nutrisi juga mengandung senyawa tertentu yang berfungsi untuk menghambat atau menekan pertumbuhan mikroba bukan sasaran. Contoh: media Luria Bertani yang ditambah Amphisilin untuk merangsang E. coli resisten antibiotik dan menghambat kontaminan yang peka Amphisilin. Salt broth

- b) yang ditambah NaCl 4% untuk membunuh Streptococcus agalactiae yang toleran terhadap garam.
- c) Medium diperkaya: medium yang mengandung bahan dasar untuk pertumbuhan mikroba tetapi ditambah komponen kompleks lainnya seperti serum, kuning telur atau lainnya.
- d) Medium untuk peremajaan kultur.
- e) Medium untuk karakterisasi bakteri digunakan untuk mengetahui kemampuan spesifik suatu mikroba. Kadang-kadang indikator ditambahkan untuk menunjukkan adanya perubahan kimia. Contohnya, Nitrate Broth, Lactose Broth, Arginine Agar.

- f) Media diferensial bertujuan untuk mengidentifikasi mikroba dari campurannya berdasarkan karakter spesifik yang ditunjukkan pada media diferensial, misalnya Triple Sugar Iron Agar (TSIA) yang mampu memilih Enterobacteria berdasarkan bentuk, warna, ukuran koloni, dan perubahan warna media di sekeliling koloni.

Syarat – syarat medium supaya mikroba dapat tumbuh baik:

- Medium harus mengandung semua nutrisi yang mudah digunakan oleh mikroba
- Medium harus mempunyai tekanan osmosis, tegangan muka, pH
- Medium tidak mengandung zat-zat penghambat
- Medium harus steril

2.4. Teknik Isolasi Dan Pembenihan Mikroorganisme

Pada lingkungan alami mikroba tidak hidup sendiri melainkan bersama-sama baik itu dari spesies yang berbeda maupun dari jenis makhluk hidup yang bukan kelompok mikroba. Jenis mikroba tersebut dapat diketahui, dengan melakukan pemisahan dari makhluk hidup lainnya, yang dikenal dengan istilah isolasi. Adapun cara yang umum digunakan untuk isolasi adalah cara suspensi. Cara suspensi maksudnya adalah sampel mikroba yang telah diambil, dibuat suspensi baru kemudian suspensi itu ditumbuhkan pada media agar tertentu. Cara ini bertujuan agar pertumbuhan mikroba dari sampel pada saat ditumbuhkan pada media agar, tidak terlalu menumpuk (*crowded*).

Isolat murni dapat diperoleh, bila dilakukan isolasi secara bertahap menggunakan media yang tepat, misal: Nutrient Agar untuk bakteri dan Potato Dextrose Agar untuk mengisolasi khamir dan kapang. Setiap pertumbuhan koloni yang menunjukkan kenampakan berbeda harus ditumbuhkan ulang pada media agar baru dan dilakukan isolasi kembali (*reisolasi*).

Isolasi adalah proses atau kegiatan memisahkan mikroba dari campurannya sehingga didapatkan kultur murni.

Teknik Pengambilan Sampel

Sebelum melakukan isolasi terlebih dahulu dilakukan pengambilan sampel. Botol atau alat gelas lain yang digunakan untuk mengambil sampel hendaknya disterilkan lebih dahulu. ⁹

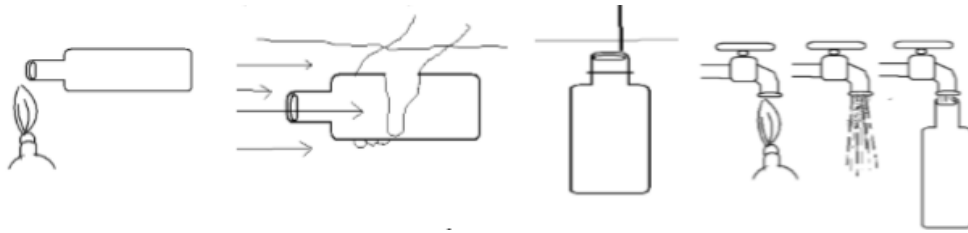
a. Sampel tanah

Jika mikroba yang diinginkan kemungkinan berada di dalam tanah maka cara pengambilannya disesuaikan dengan tujuan dan kebutuhan. Misalnya, apabila yang diinginkan mikroba rhizosfer maka sampel diambil dari sekitar perakaran dekat permukaan hingga ujung perakaran.

b. Sampel Air

Pengambilan sampel air bergantung kepada keadaan air itu sendiri. Jika berasal dari air sungai yang mengalir maka botol dicelupkan miring dengan bibir botol melawan arus air. Apabila pengambilan sampel dilakukan pada air yang tenang, botol dapat dicelupkan dengan tali, jika ingin mengambil sampel dari air kran maka sebelumnya kran dialirkan dulu beberapa saat dan mulut kran dibakar.

⁹ Lestari, Purwaning. 2017. Mikrobiologi Berbasis Inkuiri. Malang. Gunung Samudra.



Gambar 2.2. Cara Pengambilan Sampel Air

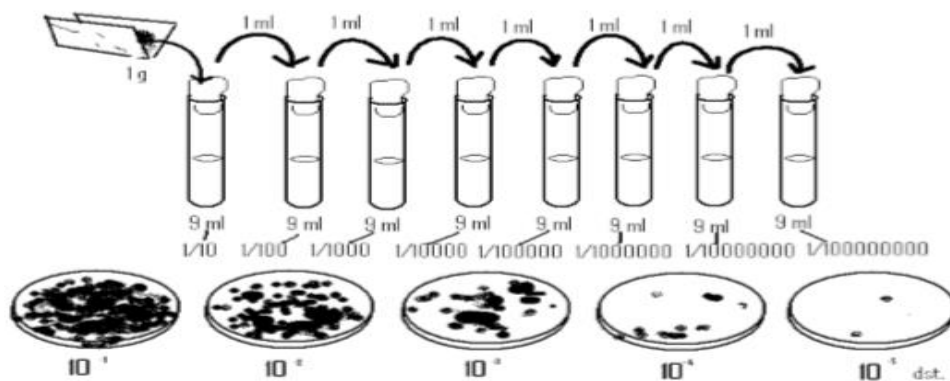
Isolasi Dengan Cara Pengenceran

a. Preparasi Suspensi

Sampel yang telah diambil kemudian disuspensikan dalam akuades steril. Tujuan dari teknik ini pada prinsipnya adalah melarutkan atau melepaskan mikroba dari substratnya ke dalam air sehingga lebih mudah penanganannya.

b. Teknik Pengenceran Bertingkat

Tujuan dari pengenceran bertingkat, yaitu memperkecil atau mengurangi jumlah mikroba yang tersuspensi dalam cairan. Penentuan besarnya atau banyaknya tingkat pengenceran tergantung kepada perkiraan jumlah mikroba dalam sampel. Digunakan perbandingan 1 : 9 untuk sampel dan pengenceran pertama, selanjutnya sehingga pengenceran berikutnya mengandung 1/10 sel mikroba dari pengenceran sebelumnya.



Gambar 2.3 Pengenceran Bertingkat

c. Teknik Penanaman

1. Teknik penanaman dari suspensi

Teknik penanaman ini merupakan lanjutan dari pengenceran bertingkat. Pengambilan suspensi dapat diambil dari pengenceran mana saja, tetapi biasanya untuk tujuan isolasi (mendapatkan koloni tunggal) diambil beberapa tabung pengenceran terakhir.

- **Spread Plate (agar tabur ulas)**

Spread plate adalah teknik menanam dengan menyebarkan suspensi bakteri di permukaan agar diperoleh kultur murni.

- **Pour Plate (agar tuang)**

Teknik ini menggunakan agar yang belum padat ($> 45^{\circ}\text{C}$) untuk dituang bersama suspensi bakteri ke dalam cawan petri kemudian dihomogenkan dan dibiarkan memadat. Hal ini akan menyebarkan sel-sel bakteri tidak hanya pada permukaan agar saja melainkan sel terendam agar (di dalam

agar) sehingga terdapat sel yang tumbuh di permukaan agar yang kaya O₂ dan ada yang tumbuh di dalam agar yang tidak begitu banyak mengandung oksigen.

2. Teknik penanaman dengan goresan (*streak*)

Bertujuan untuk mengisolasi mikroba dari campurannya atau meremajakan kultur ke dalam media baru.

- a) Goresan Sinambung
- b) Goresan T.
- c) Goresan Kuadran (*streak quadrant*).

2.5. Pewarnaan Mikroba

Prinsip dasar dari pewarnaan ini adalah ikatan ion antara komponen seluler dari bakteri dengan senyawa aktif dari pewarna yang disebut kromogen. Terjadi ikatan ion karena adanya muatan listrik baik pada komponen seluler maupun pada pewarna. Berdasarkan adanya muatan ini maka dapat dibedakan pewarna asam dan pewarna basa.

Pewarna asam dapat terjadi bila senyawa pewarna bermuatan negatif. Dalam kondisi pH mendekati netral dinding sel bakteri cenderung bermuatan negatif, sehingga pewarna asam yang bermuatan negatif akan ditolak oleh dinding sel, maka sel tidak berwarna. Pewarna asam ini disebut juga pewarna negatif. Contoh pewarna asam misalnya: tinta cina, larutan nigrosin, asam pikrat, eosin dan lain-lain. Pewarna basa bisa terjadi bila senyawa pewarna bermuatan positif. Sehingga akan diikat oleh dinding sel bakteri jadi berwarna dan terlihat. Contoh dari pewarna basa misalnya : metilen blue, Kristal violet, safranin, dan lain-lain.

Teknik pewarna asam basa ini hanya menggunakan satu jenis senyawa pewarna, teknik ini disebut pewarna sederhana. Pewarna sederhana ini diperlukan untuk mengamati morfologi, baik bentuk maupun susunan sel. Teknik pewarna yang lain adalah pewarna diferensial, yang menggunakan senyawa lebih dari satu jenis. Diperlukan untuk mengelompokkan bakteri misalnya, bakteri Gram positif atau bakteri tahan asam dan tidak tahan asam, juga diperlukan untuk mengamati struktur bakteri seperti flagella, kapsula, spora dan nukleus.

Teknik pewarnaan bukan pekerjaan yang sulit tapi perlu ketelitian dan kecermatan bekerja serta mengikuti aturan yang berlaku yakni sbb:

1. Mempersiapkan kaca obyek. Kaca obyek ini harus bersih dan bebas lemak untuk membuat apusan bakteri yang akan diwarnai.
2. Mempersiapkan apusan. Apusan yang baik adalah yang tipis dan kering, terlihat seperti lapisan yang tipis. Apusan ini dapat berasal dari cairan atau padat.
 - ✓ **Biakan cair.** Suspensi sel sebanyak satu atau dua macam jarum inokulasi diletakkan pada kaca obyek, lalu diapuskan pada kaca obyek selebar 1-2 cm. biarkan mengering di udara atau di atas api kecil dengan jarak 25 cm.
 - ✓ **Biakan padat,** bakteri yang dikultur pada medium padat tidak dapat langsung dibuat apusan seperti dari biakan cair, tapi harus diencerkan dulu. Letakkan setetes air pada kaca obyek, lalu dengan jarum inokulasi ambil bakteri dari biakan padat, letakkan pada tetesan air dan apuskan. Biarkan mengering di udara.
 - ✓ **Fiksasi dengan pemanasan.** Apusan bakteri pada kaca obyek bila tidak diletakkan secara kuat, dapat terhapus pada waktu proses pewarnaan lebih

lanjut. Proses peletakan apusan pada kaca obyek dapat dilakukan diantaranya dengan cara memanaskan di atas api.

Pewarnaan Spora

Spora pada bakteri merupakan struktur yang tahan terhadap panas dan bahan kimia. Spora dibentuk oleh bakteri tertentu untuk mengatasi lingkungan yang tidak menguntungkan bagi bakteri. Contoh bakteri yang membentuk spora adalah *Bacillus*, *Clostridium*, *Thermactinomyces* dan *sporocasina*. Spora terbentuk di dalam sel sehingga disebut sebagai endospore. Dalam sel bakteri hanya terdapat satu spora.¹⁰

¹⁰ Lestari, Purwaning. 2017. Mikrobiologi Berbasis Inkuiri. Malang. Gunung Samudra.

BAB III

MIKROORGANISME PROKARIOTIK DAN EUKARIOTIK

Unit fisik terkecil dari organisme hidup adalah sel. Komposisi material sel pada semua organisme adalah sama yaitu: DNA, RNA, protein, lemak dan fosfolipid, yang merupakan komponen dasar semua jenis sel. Namun demikian pengamatan lebih teliti menunjukkan adanya perbedaan sangat mendasar antara sel bakteri dan cyanobacteria di satu pihak dengan sel hewan dan tumbuhan di lain pihak.

Ada dua tipe sel yaitu: sel prokariotik dan sel eukariotik. Sel prokariotik merupakan tipe sel pada bakteri dan sianobakteria / alga biru (disebut jasad prokariot). Sel eukariotik merupakan tipe sel pada jasad yang tingkatnya lebih tinggi dari bakteri (disebut jasad eukariot) yaitu khamir, jamur (fungi), alga selain alga biru, protozoa dan tanaman serta hewan.

Tabel 3.1 Perbedaan Struktur Sel Prokariotik dan Eukariotik

Struktur	Prokariot	Eukariot
Macam mikroba	Bakteri dan Sianobakteria (Algae hijau-biru)	Algae umumnya, Fungi, Protozoa, Plantae, animalia
Ukuran sel	<1-2 x 1-4 μ (mikron)	> 5 μ (mikron)
Struktur genetik: <ul style="list-style-type: none">- Membran inti- Jumlah kromosom- Mitosis- DNA inti- DNA organel- % G+C DNA	Tidak ada 1 (siklis) tidak ada tidak terikat histon tidak ada 28-73	ada > 1 ada terikat histon ada + 40
Struktur dalam sitoplasma: <ul style="list-style-type: none">- Mitokondria- Kloroplas- Ribosom plasma- Ribosom organel- Retikulum endoplasmik- Aparat golgi- Fagositosis- Pinositosis	Tidak ada Tidak ada 70 S ¹⁾ tidak ada tidak ada tidak ada tidak ada tidak ada	Ada Ada / tidak ada 80 S ¹⁾ ada (70 S ¹⁾ ada ada ada / tidak ada ada / tidak ada

Keterangan: *) S : konstante pengendapan Svedberg = 1×10^{-13} detik/dyne/gram

3.1. Sel Prokariotik

Tipe sel prokariotik mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan sel eukariotik. Beberapa sel bakteri *Pseudomonas* hanya berukuran 0,4-0,7 μ diameternya dan panjangnya 2-3 μ . Sel ini tidak mempunyai organela seperti mitokondria, kloroplas dan aparat golgi.¹¹

Inti sel prokariotik tidak mempunyai membran. Bahan genetis terdapat di dalam sitoplasma, berupa untaian ganda (double helix) DNA berbentuk lingkaran yang tertutup. "Kromosom" bakteri pada umumnya hanya satu, tetapi juga mempunyai satu atau lebih molekul DNA yang melingkar (sirkuler) yang disebut

¹¹ Sumarsih, S., 2003. Mikrobiologi Dasar. Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Yogyakarta

plasmid. Sel prokariotik tidak mengandung organel yang dikelilingi oleh membran. Ribosom yang dimiliki sel prokariot lebih kecil yaitu berukuran 70 S.

Ukuran genom sel prokariot berbeda dengan sel eukariot. Jumlah DNA penyusun pada sel prokariot berkisar antara $0,8-8 \cdot 10^6$ pasangan basa (pb) DNA. DNA pada sel eukariot mempunyai pasangan basa lebih tinggi, sebagai contoh: *Neurospora* $19 \cdot 10^6$; *Aspergillus niger* $40 \cdot 10^6$; Jagung $7 \cdot 10^9$; dan manusia $29 \cdot 10^9$. Sel prokariotik tidak seluruhnya membutuhkan oksigen, misalnya pada bakteri anaerob.

3.2. Sel Eukariotik

Sel eukariotik mempunyai inti sejati yang diselimuti membran inti. Inti sel mengandung bahan genetis berupa genome/ DNA. Seluruh bahan genetis tersebut tersusun dalam suatu kromosom. Di dalam kromosom terdapat DNA yang berasosiasi dengan suatu protein yang disebut histon. Kromosom dapat mengalami pembelahan melalui proses yang dikenal sebagai mitosis.

Sel eukariotik juga mengandung organel-organel seperti mitokondria dan khloroplas yang mengandung sedikit DNA. Bentuk DNA dalam ke dua organel tersebut adalah sirkuler tertutup (seperti DNA prokariot). Ribosom pada sel eukariotik lebih besar dibandingkan prokariotik, berukuran 80S. Di dalam sel ini juga dijumpai organel lain yang bermembran, yaitu aparatus golgi. Pada tanaman organela ini mirip dengan diktiosom. Kedua organel tersebut berperan dalam proses sekresi.

BAB IV

BAKTERI

4.1 Bakteri

Bakteri merupakan mikrobia prokariotik uniselular, termasuk kelas Schizomycetes, berkembang biak secara aseksual dengan pembelahan sel. Bakteri tidak berklorofil kecuali beberapa yang bersifat fotosintetik.

Cara hidup bakteri ada yang dapat hidup bebas, parasitik, saprofitik, patogen pada manusia, hewan dan tumbuhan. Habitatnya tersebar luas di alam, dalam tanah, atmosfer (sampai ± 10 km diatas bumi), di dalam lumpur, dan di laut.

Bakteri mempunyai bentuk dasar bulat, batang, dan lengkung. Bentuk bakteri juga dapat dipengaruhi oleh umur dan syarat pertumbuhan tertentu. Bakteri dapat mengalami involusi, yaitu perubahan bentuk yang disebabkan faktor makanan, suhu, dan lingkungan yang kurang menguntungkan bagi bakteri. Selain itu dapat mengalami pleomorfi, yaitu bentuk yang bermacam-macam dan teratur walaupun ditumbuhkan pada syarat pertumbuhan yang sesuai. Umumnya bakteri berukuran $0,5-10\mu$. Berdasarkan klasifikasi artifisial yang dimuat dalam buku "Bergey's manual of determinative bacteriology" tahun 1974, bakteri diklasifikasikan berdasarkan deskripsi sifat morfologi dan fisiologi. Dalam buku ini juga terdapat kunci determinasi untuk mengklasifikasikan isolat bakteri yang baru ditemukan. Menurut Bergey's manual, bakteri dibagi menjadi 1 kelompok (grup), dengan Cyanobacteria pada grup 20. Pembagian ini berdasarkan bentuk, sifat gram, kebutuhan oksigen, dan apabila tidak dapat dibedakan menurut ketiganya maka dimasukkan ke dalam kelompok khusus.¹²

4.2 Klasifikasi Bakteri

4.2.1 Bakteri berbentuk kokus (bulat)

- a. Bakteri kokus gram positif
Aerobik: Micrococcus, Staphylococcus, Streptococcus, Leuconostoc
Anaerobik: Methanosarcina, Thiosarcina, Sarcina, Ruminococcus
- b. Bakteri kokus gram negatif
Aerobik: Neisseria, Moraxella, Acinetobacter, Paracoccus
Anaerobik: Veillonella, Acidaminococcus, Megasphaera.

4.2.2 Bakteri berbentuk batang

- a. Bakteri gram positif
 1. Bakteri gram positif tidak membentuk spora
Aerobik: Lactobacillus, Listeria, Erysipelothrix, Caryophanon.
 2. Bakteri Coryneform dan actinomycetes
Aerobik Coryneform: Corynebacterium, Arthrobacter, Brevibacterium, Cellulomonas, Propionibacterium, Eubacterium, Bifidobacterium.

¹² Suriawiria U. 2005. Mikrobiologi Dasar. Jakarta : Papas Sinar Sinanti.

Aerobik Actinomycetes: Mycobacterium, Nocardia, Actinomyces, Frankia, Actinoplanes, Dermatophilus, Micromonospora, Microbispora, Streptomyces, Streptosporangium.

Actinomycetes dapat membentuk miselium

yang sangat halus dan bercabang-cabang. Miselium vegetatif tumbuh di dalam medium, dan miselium udara ada di permukaan medium. Bakteri ini dapat berkembang biak dengan spora, secara fragmentasi dan segmentasi, dengan chlamydospora, serta dengan bertunas. Bakteri ini umumnya mempunyai habitat pada lingkungan dengan pH yang tinggi. Cara hidupnya ada yang bersifat saprofit, simbiosis dan beberapa sebagai parasit. Frankia adalah actinomycetes yang mampu menambat nitrogen dan dapat bersimbiosis dengan tanaman.

3. Bakteri pembentuk endospora

Aerobik: Bacillus, Sporolactobacillus, Sporosarcina, Thermoactinomyces

Anaerobik: Clostridium, Desulfotomaculum, Oscillospira.

b. Bakteri gram negatif

1. Bakteri gram negatif aerobik

Aerobik: Pseudomonas, Xanthomonas, Zoogloea, Gluconobacter, Acetobacter, Azotobacter, Azomonas, Beijerinckia, Derxia, Rhizobium, Agrobacterium, Alcaligenes, Brucella, Legionella, Thermus. Bakteri Azotobacter, Beijerinckia, Derxia, Rhizobium termasuk diazotroph yang dapat menambat nitrogen dari udara. Azotobacter, Beijerinckia, dan Derxia cara hidupnya bebas tidak bersimbiosis, Rhizobium hidupnya dapat bersimbiosis dengan akar tanaman leguminosa dengan membentuk bintil akar.

2. Bakteri gram negatif aerobik khemolitotrofik

Aerobik: Nitrobacter, Nitrospira, Nitrococcus, Nitrosomonas, Nitrosospira, Nitrosococcus, Nitrosolobus. Bakteri bakteri tersebut umumnya berperan dalam proses nitrifikasi di dalam tanah. Thiobacillus, Sulfolobus, Thiobacterium, Thiovolum, yang merupakan bakteri yang berperan dalam proses oksidasi sulfur di alam.

3. Bakteri berselubung

Aerobik: Sphaerotilus, Leptothrix, Cladothrix, Crenothrix. Bakteri Sphaerotilus biasanya hidup di saluran-saluran air. Leptothrix, dan Cladothrix merupakan bakteri yang mampu mengoksidasi besi atau penyebab korosi.

4. Bakteri gram negatif fakultatif anaerobik

Fakultatif anaerobik: Escherichia coli, Klebsiella, Enterobacter, Salmonella, Shigella, Proteus, Serratia, Erwinia, Yersinia, Vibrio, Aeromonas, Photobacterium.

5. Bakteri gram negatif anaerobik

Sangat Anaerobik: Bacteroides, Fusobacterium, Leptotrichia.

6. Bakteri Methanogens dan arkaebakteria

Sangat Anaerobik: Methanobacterium, Methanothermus, Methanosarcina, Methanotherix, Methanococcus. Bakteri ini merupakan pembentuk metan (CH_4) dari hasil perombakan bahan organik secara anaerobik.

Aerobik: Halobacterium, Halococcus, Thermoplasma. Bakteri ini ada yang tahan hidup pada kadar garam tinggi dan ada yang tahan pada suhu tinggi.

Anaerobik: Thermoproteus, Pyrodictium, Desulforococcus.

4.2.3 Bakteri berbentuk lengkung

a. Bakteri gram negatif spiril dan lengkung

Aerobik: Spirillum, Aquaspirillum, Azospirillum, Oceanospirillum, Campylobacter, Bdellovibrio, Microcycus, Pelosigma. Bakteri Azospirillum termasuk bakteri penambat nitrogen yang dapat berasosiasi dengan tanaman gramineae termasuk tanaman padi. Bakteri Bdellovibrio adalah bakteri yang dapat hidup sebagai parasit pada sel bakteri lain (parasit bakteri).

b. Bakteri gram negatif lengkung anaerobik

Anaerobik: Desulfovibrio, Succinivibrio, Butyrivibrio, Selenomonas. Bakteri Desulfovibrio merupakan salah satu bakteri yang mampu mereduksi sulfat.

c. Spirochaeta

Aerobik dan anaerobik: Spirochaeta, Cristispira, Treponema, Borrelia, Leptospira. Bakteri ini berbentuk benang tipis dan terulir. Dinding sel tipis dan lentur. Bakteri ini dapat bergerak dengan cara kontraksi sel menurut garis sumbu selnya. Selnya berukuran $0,1-3 \mu \times 4-8 \mu$.

4.2.4 Bakteri yang termasuk kelompok khusus

a. Bakteri yang merayap (meluncur)

Bakteri ini dapat merayap walaupun tidak berflagela. Bakteri ini selalu bersifat gram negatif. Dalam kelompok ini termasuk beberapa ganggang biru, beberapa bakteri kemoorganotrof dan beberapa bakteri belerang (sulfur).

Kelompok bakteri yang menjadi anggota bakteri merayap (meluncur) sebagai berikut:

1. Bakteri yang mengandung sulfur intraselular, berbentuk benang. Contoh: Beggiatoa, Thiobacillus, Achromatium.
2. Bakteri bebas sulfur, membentuk trikoma (bulu). Contoh: Vitreoscilla, Leucothrix, Saprospira.
3. Bakteri uniselular, bentuk batang pendek. Contoh: Cytophaga, Flexibacter, Myxobacteria.
4. Bakteri fototrof yang bergerak merayap. Contoh: Chloroflexus
5. Cyanobacteria yang bergerak merayap. Contoh: Oscillatoria.

Myxobacteria.

Bakteri yang termasuk myxobacteria mempunyai dinding sel sangat tipis dan lentur. Bakteri ini bersifat gram negatif, dan dapat bergerak meluncur. Bentuk sel umumnya memanjang (spoel) dengan ujung runcing. Dalam siklus hidupnya dapat membentuk badan buah, yang merupakan kumpulan sel yang berdiferensiasi. Ukuran badan buah kurang dari 1 mm. Contoh: Chondromyces, Myxococcus.

b. Bakteri bertangkai atau bertunas

Bakteri ini mempunyai struktur mirip tangkai atau tunas yang merupakan tonjolan dari sel, atau hasil pengeluaran lendir. Contoh: *Hypomicrobium*, *Caulobacter*, *Prosthecomicrobium*, *Ancalomicrobium*, *Gallionella*, *Nevskia*.

c. Bakteri parasit obligat: Rickettsiae dan Chlamydiae

Merupakan bakteri yang berukuran paling kecil, tetapi lebih besar dari virus, yaitu $0,3 \times 2 \mu$. Bentuk sel pleomorfik, dapat berupa batang, kokus, atau filamen. Bakteri ini cara hidupnya sebagai parasit sejati (parasit obligat) di dalam sel jasad lain dan bersifat patogen. Hidupnya intraselular di dalam sitoplasma dan inti sel binatang dan manusia. Oleh karena itu bakteri kelompok ini merupakan penyebab penyakit, yang biasanya ditularkan oleh vektor serangga. Contoh: *Rickettsia prowazekii*, *Chlamydia trachomatis*, *Coxiella burnetii*.

d. Mycoplasma (klas Mollicutes)

Mycoplasma disebut juga PPLO (Pleuropneumonia Like Organisms). Cirinya yaitu tidak mempunyai dinding sel, atau merupakan bentuk L dari bakteri sejati (Eubakteria) atau bentuk speroplas sel eubakteria, sehingga sifatnya mirip bakteri sejati. *Mycoplasma* berukuran $0,001-7 \mu$. Umumnya lebih besar dari *Rickettsiae* dan dapat dicat dengan cat anilin. Ukuran koloni mencapai $10-600 \mu$. Selnya berbentuk kokus, filamen, roset, dan sangat pleomorfik. Selnya dapat memperbanyak diri dengan pembelahan biner, fragmentasi, dan perkecambahan. Cara hidupnya sebagai saprofit atau patogen. Contoh: *Mycoplasma mycoides*, *M. homonia*, *M. orale*, *Acholeplasma*, *Spiroplasma*.

e. Bakteri anaerobik anoksigenik fototrofik

Bakteri ini mempunyai ciri berpigmen fotosintetik. Ada yang berbentuk kokus, batang, dan lengkung. Berdasarkan sifat fisiologinya dapat dibagi menjadi:

1. Familia *Thiorhodaceae* (bakteri sulfur ungu). Contoh: *Thiospirillum* sp., *Chromatium* sp.
2. Familia *Athiorhodaceae*/*Rhodospirillaceae* (bakteri sulfur non-ungu). Contoh: *Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas*.
3. Familia *Chlorobiaceae* (bakteri sulfur hijau). Contoh: *Chlorobium*, *Chloropseudomonas*, *Chlorochromatium*.

f. Bakteri aerobik oksigenik fototrofik: Cyanobacteria

Bakteri ini termasuk *Myxophyceae* atau *Cyanophyceae*. Sifatnya yang mirip bakteri adalah dinding selnya terdiri mukokompleks, tidak berdinding inti, tidak ada mitokondria dan kloroplas. Sifatnya yang berbeda adalah dapat berfotosintesa mirip tumbuhan tingkat tinggi, dan menghasilkan O_2 . Bakteri ini mempunyai klorofil a dan fikobilin (fikosianin dan fikoeritrin). Bentuk selnya tunggal (uniselular), koloni, dan benang-benang (filamen). Selnya dapat bergerak meluncur tetapi sangat lambat (250μ per menit), meskipun tidak berflagela. Cara hidupnya bebas, dan berasosiasi simbiosis. Umumnya dapat menambat nitrogen dari udara, dan bersifat fotoautotrof obligat. Contoh: *Gloeobacter*, *Gloeocapsa*, *Dermocarpa*, *Spirulina*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Calothrix*, *Cylindrospermum*. *Anabaena azollae* dapat bersimbiosis dengan tanaman paku air *Azolla* sp. dan *Nostoc* bersimbiosis dengan jamur membentuk Lichenes.

BAB V

FUNGI/ JAMUR

Di dalam dunia mikrobial, jamur termasuk divisio Mycota (fungi). Mycota berasal dari kata mykes (bahasa Yunani), disebut juga fungi (bahasa Latin). Ada beberapa istilah yang dikenal untuk menyebut jamur, (a) mushroom yaitu jamur yang dapat menghasilkan badan buah besar, termasuk jamur yang dapat dimakan, (b) mold yaitu jamur yang berbentuk seperti benang-benang, dan (c) khamir yaitu jamur bersel satu.

Jamur merupakan jasad eukariot, yang berbentuk benang atau sel tunggal, multiseluler atau uniseluler. Sel-sel jamur tidak berklorofil, dinding sel tersusun dari kitin, dan belum ada diferensiasi jaringan. Jamur bersifat kemoorganoheterotrof karena memperoleh energi dari oksidasi senyawa organik. Jamur memerlukan oksigen untuk hidupnya (bersifat aerobik).

Habitat (tempat hidup) jamur terdapat pada air dan tanah. Cara hidupnya bebas atau bersimbiosis, tumbuh sebagai saprofit atau parasit pada tanaman, hewan dan manusia.

5.1. Morfologi Jamur

Jamur benang terdiri atas massa benang yang bercabang-cabang yang disebut miselium. Miselium tersusun dari hifa (filamen) yang merupakan benang-benang tunggal. Badan vegetatif jamur yang tersusun dari filamen-filamen disebut thallus. Berdasarkan fungsinya dibedakan dua macam hifa, yaitu hifa fertil dan hifa vegetatif. Hifa fertil adalah hifa yang dapat membentuk sel-sel reproduksi atau spora-spora. Apabila hifa tersebut arah pertumbuhannya keluar dari media disebut hifa udara. Hifa vegetatif adalah hifa yang berfungsi untuk menyerap makanan dari substrat.

Berdasarkan bentuknya dibedakan pula menjadi dua macam hifa, yaitu hifa tidak bersepta dan hifa bersepta. Hifa yang tidak bersepta merupakan ciri jamur yang termasuk Phycomycetes (Jamur tingkat rendah). Hifa ini merupakan sel yang memanjang, bercabang-cabang, terdiri atas sitoplasma dengan banyak inti (soenositik). Hifa yang bersepta merupakan ciri dari jamur tingkat tinggi, atau yang termasuk Eumycetes.¹³

5.2 Perkembangbiakan jamur

Jamur dapat berkembang biak secara vegetatif (aseksual) dan generatif (seksual). Perkembang biakan aseksual dapat dilakukan dengan fragmentasi miselium (thalus) dan pembentukan spora aseksual. Ada 4 cara perkembang biakan dengan fragmentasi thalus yaitu, (a) dengan pembentukan tunas, misalnya pada khamir, (b) dengan blastospora, yaitu tunas yang tumbuh menjadi spora, misalnya pada *Candida* sp., (c) dengan arthrospora (oidium), yaitu terjadinya segmentasi pada ujung-ujung hifa, kemudian sel-sel membulat dan akhirnya lepas menjadi

¹³ Dwidjoseputro, D. 2003. Dasar - Dasar Mikrobiologi. Djambatan. Jakarta. 214 hal.

spora, misalnya pada *Geotrichum* sp., dan (d) dengan chlamydospora, yaitu pembulatan dan penebalan dinding sel pada hifa vegetatif, misalnya pada *Geotrichum* sp.

Spora aseksual terbentuk melalui 2 cara. Pada jamur tingkat rendah, spora aseksual terbentuk sebagai hasil pembelahan inti berulang-ulang. Misalnya spora yang terbentuk di dalam sporangium. Spora ini disebut sporangiospora. Pada jamur tingkat tinggi, terbentuk spora yang disebut konidia. Konidi terbentuk pada ujung konidiofor, terbentuk dari ujung hifa atau dari konidi yang telah terbentuk sebelumnya.

Perkembangbiakan secara seksual, dilakukan dengan pembentukan spora seksual dan peleburan gamet (sel seksual). Ada dua tipe kelamin (mating type) dari sel seksual, yaitu tipe kelamin + (jantan) dan tipe kelamin – (betina). Peleburan gamet terjadi antara 2 tipe kelamin yang berbeda. Proses reproduksi secara seksual dibagi menjadi 3 tingkatan, yaitu: (a) plasmogami yaitu meleburnya 2 plasma sel, (b) kariogami yaitu meleburnya 2 inti haploid yang menghasilkan satu inti diploid, dan (c) meiosis yaitu pembelahan reduksi yang menghasilkan inti haploid. Bentuk dan cara reproduksi jamur sangat beraneka ragam, dan dapat digunakan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan jamur tersebut.

5.3 Klasifikasi jamur

Ada beberapa klasifikasi jamur, yaitu Acrasiomycetes (Jamur lendir selular), Myxomycetes (Jamur lendir sejati), Phycomycetes (Jamur tingkat rendah), dan Eumycetes (Jamur tingkat tinggi). Eumycetes terdiri atas 3 klasifikasi yaitu Ascomycetes, Basidiomycetes, dan Deuteromycetes (Fungi imperfecti).

Sistem tata nama jamur menggunakan nama binomial, yang terdiri nama genus dan nama spesifik / spesies. Nama famili dengan akhiran –aceae, nama order dengan akhiran –ales, dan nama klasifikasi dengan akhiran –mycetes.

1. ACRASIOMYCETES

Jamur ini merupakan kelompok jamur lendir selular, yang hidup bebas di dalam tanah, biasanya diisolasi dari tanah humus. Bentuk vegetatifnya berupa sel berinti satu yang amoeboid, seperti protozoa uniselular atau merupakan amoeba haploid, dan disebut juga pseudoplasmodium.

Ciri-ciri sel jamur ini adalah dapat bergerak di atas media padat (pseudopodia), makan dengan cara fagositosis, misalnya dengan memakan bakteri. Sifatnya yang mirip fungi adalah adanya stadium badan buah, dan terbentuknya spora. Struktur spora seperti bentuk kista dari amoeba.

Perkembangbiakan jamur ini dimulai dari berkecambahnya spora, kemudian sel memperbanyak diri membentuk pseudoplasmodium, selanjutnya sel-sel beragregasi dan akan membentuk badan buah, akhirnya terbentuk sporokarp yang menghasilkan spora kembali. Contoh jamur ini adalah *Dictyostelium mucoroides* dan *D. discoideum*.

2. MYXOMYCETES

Jamur ini merupakan jamur lendir sejati. Jamur ini dapat ditemukan pada kayu terombak, guguran daun, kulit kayu, dan kayu. Bentuk vegetatifnya disebut plasmodium. Plasmodium merupakan masa sitoplasma berinti banyak dan tidak dibatasi oleh dinding sel yang kuat. Sel-selnya mempunyai gerakan amoeboid di atas substrat. Cara makan dengan fagositosis. Apabila plasmodium merayap ke tempat yang kering, akan terbentuk badan buah. Badan buah menghasilkan spora

berinti satu yang diselubungi dinding sel. Spora berasal dari inti-inti plasmodium. Struktur pada semua stadium sama, yaitu seperti sel soenositik dengan adanya aliran sitoplasma.

Perkembang biakan jamur ini dimulai dari sel vegetatif haploid hasil perkecambahan spora. Sel tersebut setelah menggandakan diri akan mengadakan plasmogami dan kariogami yang menghasilkan sel diploid. Sel diploid yang berkembang menjadi plasmodium yang selnya multinukleat tetapi uniselular, selanjutnya membentuk badan buah yang berbentuk sporangium. Sporangium tersebut menghasilkan spora haploid. Contoh jamur ini adalah *Lycogala epidendron*, *Cribraria rufa*, dan *Fuligo septica*.

3. PHYCOMYCETES

Jamur ini termasuk jamur benang yang mempunyai hifa tidak bersepta, sel vegetatif multinukleat, atau disebut thalus soenositik. Secara vegetatif dapat memperbanyak diri dengan potongan-potongan hifa, dan menghasilkan spora aseksual dalam sporangium (sporangiospora). Perkembang biakan secara generatif dengan membentuk spora seksual. Berdasarkan cara terbentuknya spora dibagi menjadi 2 macam, (a) Oospora, hasil peleburan antara gamet-gamet yang tidak sama besarnya, dan (b) Zygospora, hasil peleburan gamet-gamet yang sama besarnya. Berdasarkan tipe sporanya maka jamur ini juga dapat dikelompokkan dalam Oomycetes dan Zygomycetes.

Contoh jamur yang termasuk kelas Oomycetes adalah *Saprolegnia* sp. (jamur air). dan jamur patogen seperti *Phytophthora infestans* (penyebab penyakit potato blight), *Plasmopora viticola* (penyebab penyakit embun tepung pada tanaman). Jamur yang termasuk Zygomycetes ada 3 order, yaitu Mucorales, Entomophthorales, dan Zoopagales. Jamur yang penting dari kelompok Mucorales adalah *Mucor* sp. Dan *Rhizopus* sp. *Rhizopus nigricans* adalah jamur roti, *R. oryzae*, *R. oligosporus*, dan *R. stolonifer* adalah jamur yang biasa digunakan pada fermentasi tempe.

4. ASCOMYCETES

Ciri jamur ini mempunyai hifa bersepta, dan dapat membentuk konidiofor. Secara vegetatif dapat berkembang biak dengan potongan hifa, dan pada beberapa jenis dapat menghasilkan konidia secara aseksual. Fase konidi jamur ini disebut juga fase imperfect. Fungi yang hanya dalam bentuk fase imperfect disebut fungi imperfecti (Deuteromycetes). Secara generatif dapat membentuk badan buah yang disebut askokarp, yang di dalamnya terdapat askus (kantong) yang menghasilkan askospora. Askospora merupakan hasil kariogami dan meiosis.

Pembentukan askospora ada 4 cara, yaitu:

1. Konyugasi langsung seperti pada khamir.
2. Pembelahan sel miselium.
3. Peleburan sel-sel kelamin kemudian oogonium menjadi askus.
4. Dari hife askogen timbul organ-organ tertentu yang mengandung inti rangkap.

Berdasarkan bentuknya dapat dibedakan 3 macam askus, yaitu

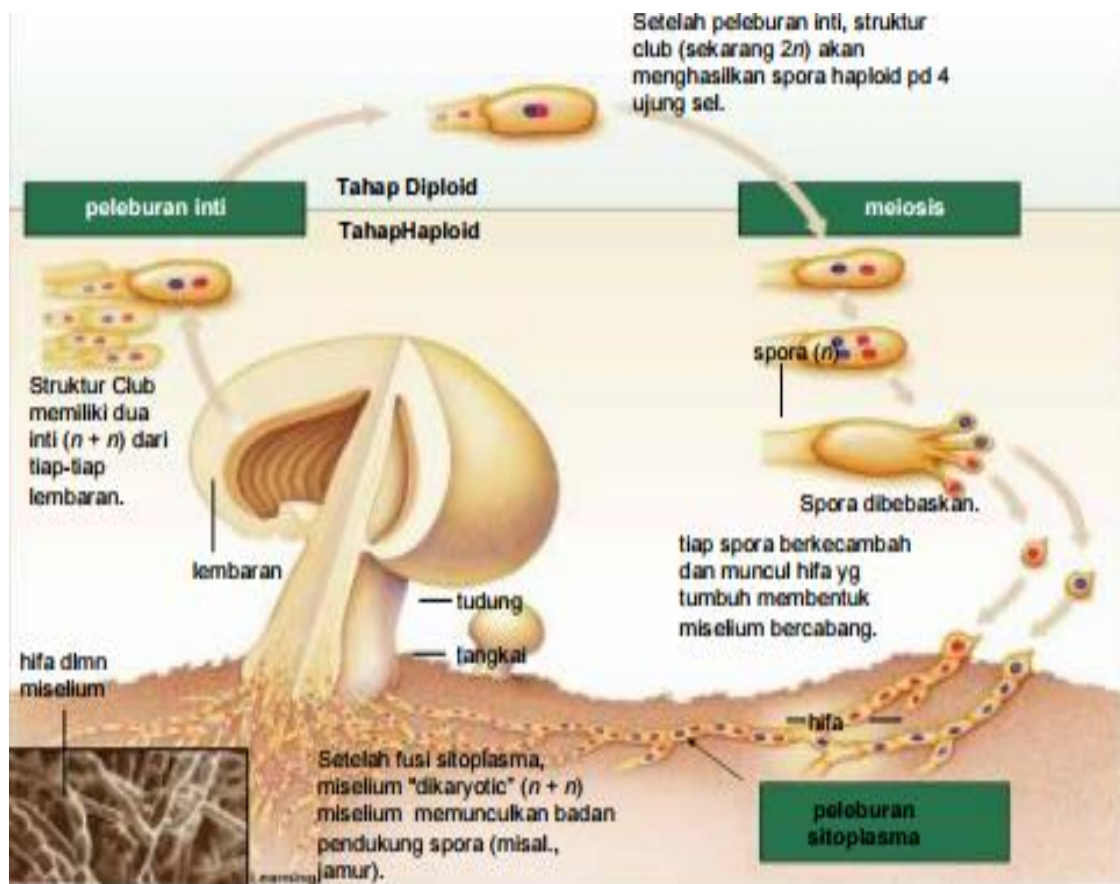
- (a) Cleistothecium, bentuknya bulat, kasar dan tidak mempunyai lubang khusus untuk jalan keluarnya spora.
- (b) Perithecium, bentuk bulat seperti labu, mempunyai ostiol untuk jalan keluarnya spora.

- (c) Apothecium, bentuk seperti cawan atau mangkuk, bagian permukaan terdiri atas himenium yang mengandung askus-askus dalam lapisan palisade, dari lapisan tersebut dapat dilepaskan askospora.

Contoh jamur ini yang penting adalah genus *Aspergillus* dan *Penicillium*. Jamur ini umumnya dapat menghasilkan pigmen hitam, coklat, merah, dan hijau. Pigmen tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis-jenis jamur tersebut. Jamur ini umumnya dapat merombak bahan organik seperti kayu, buah, kulit, dan sisa-sisa tanaman. Spesies seperti *P. roqueforti* dan *P. camemberti* dapat digunakan untuk flavour (aroma). *Penicillium notatum* dan *Penicillium chrysogenum* untuk produksi antibiotik penisilin. Jamur *Aspergillus niger* untuk fermentasi asam sitrat, *Aspergillusoryzae* dan *Aspergillus wentii* untuk fermentasi kecap.

5. BASIDIOMYCETES

Ciri khusus jamur ini yaitu mempunyai basidium yang berbentuk seperti gada, tidak bersekat, dan mengandung 4 basidiospora di ujungnya. Pada jamur tertentu mempunyai hymenium atau lapisan-lapisan dalam badan buah. Hymenium terdapat pada mushroom, maka disebut juga Hymenomycetes.



Gambar 5.1. Siklus Reproduksi Basidiomycetes

Hymenium terdiri dari basidia, hifa steril, parafisa, dan cysts. Basidia berasal dari hifa dikariotik, sel ujungnya membesar, inti ikut membesar, 2 inti melebur menghasilkan 1 inti diploid, kemudian membelah reduksi menjadi 4 inti haploid yang menjadi inti basidiospora. Tipe kelamin basidiospora terdiri atas 2 negatif dan 2 positif. Akumulasi basidiospora dapat dilihat dari warnanya, yaitu seperti tepung

halus berwarna coklat, hitam, ungu, kuning, dan sebagainya. Contoh jamur ini adalah *Pleurotus sp* (Jamur Tiram), *Cyantus sp.*, dan khamir *Sporobolomyces sp.*

6. DEUTEROMYCETES (FUNGI IMPERFECTI)

Semua jamur yang tidak mempunyai bentuk (fase) seksual dimasukkan ke dalam kelas Deuteromycetes. Jamur ini merupakan bentuk konidial dari klas Ascomycetes, dengan askus tidak bertutup atau hilang karena evolusi. Jamur ini juga tidak lengkap secara seksual, atau disebut paraseksual. Proses plasmogami, kariogami dan meiosis ada tetapi tidak terjadi pada lokasi tertentu dari badan vegetatif, atau tidak terjadi pada fase perkembangan tertentu. Miseliumnya bersifat homokariotik. Contoh jamur ini adalah beberapa spesies *Aspergillus*, *Penicillium*, dan *Monilia*.

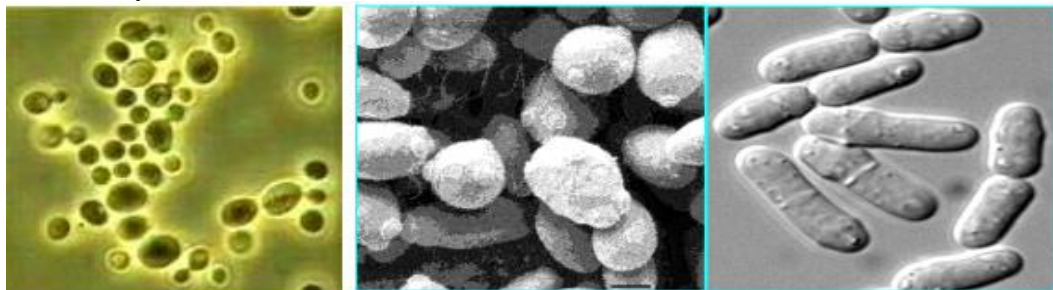
5.4 Identifikasi Jamur Benang

Untuk mengidentifikasi jamur benang lebih diutamakan pengujian sifat-sifat morfologinya, tetapi perlu juga pengujian sifat-sifat fisiologi. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada pengamatan morfologi jamur benang adalah:

1. Tipe hifa, bersepta atau tidak, jernih atau keruh, dan berwarna atau tidak.
2. Tipe spora, seksual (oospora, zygospora, askospora, atau basidiospora), aseksual (sporangiospora, konidia, atau oidia)
3. Tipe badan buah, bentuk, ukuran, warna, letak spora atau konidi. Bentuk sporangiofor / konidiofor, kolumela / vesikula.
4. Bentuk khusus, misalnya adanya stolon, rhizoid, sel kaki, apofisa, klamidospora, sklerosia, dan lain-lain.¹⁴

5.5 KHAMIR

Khamir atau disebut yeast, merupakan jamur bersel satu yang mikroskopik, tidak berflagela. Beberapa genera membentuk filamen (pseudomiselium). Cara hidupnya sebagai saprofit dan parasit. Hidup di dalam tanah atau debu di udara, tanah, daun-daun, nektar bunga, permukaan buah-buahan, di tubuh serangga, dan cairan yang mengandung gula seperti sirup, madu dan lain-lain. Khamir berbentuk bulat (sferoid), elips, batang atau silindris, seperti buah jeruk, sosis, dan lain-lain. Bentuknya yang tetap dapat digunakan untuk identifikasi. Khamir dapat dimasukkan ke dalam klas Ascomycetes, Basidiomycetes dan Deuteromycetes.



Sel khamir

Gambar 5.2. Jenis Jamur Sel khamir

¹⁴ Dwidjoseputro, D. 2003. Dasar - Dasar Mikrobiologi. Djambatan. Jakarta. 214 hal.

1. Perkembang biakan sel khamir

Perkembang biakan sel khamir dapat terjadi secara vegetatif maupun secara generatif (seksual). Secara vegetatif (aseksual), (a) dengan cara bertunas (*Candida* sp., dan khamir pada umumnya), (b) pembelahan sel (*Schizosaccharomyces* sp.), dan (c) membentuk spora aseksual (klas Ascomycetes). Secara generatif dengan carakonyugasi (reproduksi seksual). Konyugasi khamir ada 3 macam, yaitu (a) konyugasi isogami (*Schizosaccharomyces octosporus*), (b) konyugasi heterogami (*Zygosaccharomyces priorianus*), dan konyugasi askospora pada *Zygosaccharomyces* sp. dan *Schizosaccharomyces* sp. (sel vegetatif haploid), serta pada *Saccharomyces* sp., dan *Saccharomycodes* sp. (sel vegetatif diploid).

2. Identifikasi khamir

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mengidentifikasi khamir adalah:

1. Ada tidaknya askospora, kalau ada bagaimana pembentukannya (konyugasi isogami, heterogami, atau konyugasi askospora), bentuk, warna, ukuran, dan jumlah spora.
2. Bentuk, warna, dan ukuran sel vegetatifnya.
3. Cara reproduksi aseksual (bertunas, membelah, dsb)
4. Ada tidaknya filamen atau pseudomiselium.
5. Pertumbuhan dalam medium dan warna koloninya.
6. Sifat-sifat fisiologi, misalnya sumber karbon (C) dan nitrogen (N), kebutuhan vitamin, bersifat oksidatif atau fermentatif, atau keduanya, lipolitik, uji pembentukan asam, penggunaan pati, dan lain-lain.¹⁵

¹⁵ Dwidjoseputro, D. 2003. Dasar - Dasar Mikrobiologi. Djambatan. Jakarta. 214 hal.

BAB VI

PROTOZOA

Seperti algae, protozoa merupakan kelompok lain yang termasuk protista eukariotik. Walaupun kadang-kadang antara algae dan protozoa kurang jelas perbedaannya. Beberapa organisme mempunyai sifat antara algae dan protozoa. Sebagai contoh algae hijau Euglenophyta, selnya berflagela dan merupakan sel tunggal yang berklorofil, tetapi dapat mengalami kehilangan klorofil dan kemampuan untuk berfotosintesa. Semua spesies Euglenophyta yang mampu hidup pada nutrisi kompleks tanpa adanya cahaya, beberapa ilmuwan memasukkannya ke dalam filum protozoa. Misalnya strain mutan algae genus *Chlamydomonas* yang tidak berklorofil, dapat dikelaskan sebagai protozoa genus *Polytoma*. Hal ini sebagai contoh bagaimana sulitnya membedakan dengan tegas antara algae dan protozoa.

Protozoa dibedakan dari prokariot karena ukurannya yang lebih besar, dan selnya eukariotik. Protozoa dibedakan dari algae karena tidak berklorofil, dibedakan dari jamur karena dapat bergerak aktif dan tidak ber dinding sel, serta dibedakan dari jamur lendir karena tidak dapat membentuk badan buah.

1. Habitat Protozoa

Protozoa umumnya hidup bebas dan terdapat di lautan, lingkungan air tawar, atau daratan. Beberapa spesies bersifat parasitik, hidup pada organisme inang. Inang protozoa yang bersifat parasit dapat berupa organisme sederhana seperti algae, sampai vertebrata yang kompleks, termasuk manusia. Beberapa spesies dapat tumbuh di dalam tanah atau pada permukaan tumbuh-tumbuhan. Semua protozoa memerlukan kelembaban yang tinggi pada habitat apapun. Beberapa jenis protozoa laut merupakan bagian dari zooplankton. Protozoa laut yang lain hidup di dasar laut. Spesies yang hidup di air tawar dapat berada di danau, sungai, kolam, atau genangan air. Ada pula protozoa yang tidak bersifat parasit yang hidup di dalam usus termit atau di dalam rumen hewan ruminansia.

2. Morfologi Protozoa

Protozoa tidak mempunyai dinding sel, dan tidak mengandung selulosa atau kitin seperti pada jamur dan algae. Kebanyakan protozoa mempunyai bentuk spesifik, yang ditandai dengan fleksibilitas ektoplasma yang ada dalam membran sel. Beberapa jenis protozoa seperti Foraminifera mempunyai kerangka luar sangat keras yang tersusun dari Si dan Ca. Beberapa protozoa seperti Diffugia, dapat mengikat partikel mineral untuk membentuk kerangka luar yang keras. Radiolarian dan Heliozoan dapat menghasilkan skeleton. Kerangka luar yang keras ini sering ditemukan dalam bentuk fosil. Kerangka luar Foraminifera tersusun dari CaO_2 sehingga koloninya dalam waktu jutaan tahun dapat membentuk batuan kapur.

Semua protozoa mempunyai vakuola kontraktil. Vakuola dapat berperan sebagai pompa untuk mengeluarkan kelebihan air dari sel, atau untuk mengatur tekanan osmosa. Jumlah dan letak vakuola kontraktil berbeda pada setiap spesies.

Protozoa dapat berada dalam bentuk vegetatif (trophozoite), atau bentuk istirahat yang disebut kista. Protozoa pada keadaan yang tidak menguntungkan dapat membentuk kista untuk mempertahankan hidupnya. Saat kista berada pada keadaan yang menguntungkan, maka akan berkecambah menjadi sel vegetatifnya. Protozoa merupakan sel tunggal, yang dapat bergerak secara khas menggunakan

pseudopodia (kaki palsu), flagela atau silia, namun ada yang tidak dapat bergerak aktif. Berdasarkan alat gerak yang dipunyai dan mekanisme gerakan inilah protozoa dikelompokkan ke dalam 4 kelas. Protozoa yang bergerak secara amoeboid dikelompokkan ke dalam Sarcodina, yang bergerak dengan flagela dimasukkan ke dalam Mastigophora, yang bergerak dengan silia dikelompokkan ke dalam Ciliophora, dan yang tidak dapat bergerak seras merupakan parasit hewan maupun manusia dikelompokkan ke dalam Sporozoa.

Mulai tahun 1980, oleh Committee on Systematics and Evolution of the Society of Protozoologist, mengklasifikasikan protozoa menjadi 7 kelas baru, yaitu Sarcomastigophora, Ciliophora, Acetozoa, Apicomplexa, Microspora, Myxozoa, dan Labyrinthomorpha. Pada klasifikasi yang baru ini, Sarcodina dan Mastigophora digabung menjadi satu kelompok Sarcomastigophora, dan Sporozoa karena anggotanya sangat beragam, maka dipecah menjadi lima kelas.

Contoh protozoa yang termasuk Sarcomastigophora adalah genera Monosiga, Bodo, Leishmania, Trypanosoma, Giardia, Opalina, Amoeba, Entamoeba, dan Diffugia. Anggota kelompok Ciliophora antara lain genera Didinium, Tetrahymena, Paramecium, dan Stentor. Contoh protozoa kelompok Acetozoa adalah genera Paramyxa. Apicomplexa beranggotakan genera Eimeria, Toxoplasma, Babesia, Theileria. Genera Metchnikovella termasuk kelompok Microspora. Genera Myxidium dan Kudzia adalah contoh anggota kelompok Myxozoa.

3. Fisiologi Protozoa

Protozoa umumnya bersifat aerobik nonfotosintetik, tetapi beberapa protozoa dapat hidup pada lingkungan anaerobik (misal pada saluran pencernaan manusia atau ruminansia). Protozoa aerobik mempunyai mitokondria yang mengandung enzim untuk metabolisme aerobik, dan untuk menghasilkan ATP melalui proses transfer elektron dan atom hidrogen ke oksigen. Protozoa umumnya mendapatkan makanan dengan memangsa organisme lain (bakteri) atau partikel organik, baik secara fagositosis maupun pinositosis. Protozoa yang hidup di lingkungan air, maka oksidogen dan air maupun molekul-molekul kecil dapat berdifusi melalui membran sel. Senyawa makromolekul yang tidak dapat berdifusi melalui membran, dapat masuk sel secara pinositosis. Tetapan cairan masuk melalui saluran pada membran sel, saat saluran penuh kemudian masuk ke dalam membran yang berikatan dengan vakuola. Vakuola kecil terbentuk, kemudian dibawa ke bagian dalam sel, selanjutnya molekul dalam vakuola dipindahkan ke sitoplasma.

Partikel makanan yang lebih besar dimakan secara fagositosis oleh sel yang bersifat amoeboid dan anggota lain dari kelompok Sarcodina. Partikel dikelilingi oleh bagian membran sel yang fleksibel untuk ditangkap kemudian dimasukkan ke dalam sel oleh vakuola besar (vakuola makanan). Ukuran vakuola mengecil kemudian mengalami pengasaman. Lisosom memberikan enzim ke dalam vakuola makanan tersebut untuk mencernakan makanan, kemudian vakuola membesar kembali. Hasil pencernaan makanan didispersikan ke dalam sitoplasma secara pinositosis, dan sisa yang tidak tercerna dikeluarkan dari sel. Cara inilah yang digunakan protozoa untuk memangsa bakteri.

Pada kelompok Ciliata, ada organ mirip mulut di permukaan sel yang disebut sitosom. Sitosom dapat digunakan menangkap makanan dengan dibantu silia.

Setelah makanan masuk ke dalam vakuola makanan kemudian dicernakan, sisanya dikeluarkan dari sel melalui sitopig yang terletak disamping sitosom.

4. Perkembangbiakan Protozoa

Protozoa dapat berkembang biak secara seksual dan aseksual. Secara aseksual protozoa dapat mengadakan pembelahan diri menjadi 2 anak sel (biner), tetapi pada Flagelata pembelahan terjadi secara longitudinal dan pada Ciliata secara transversal. Beberapa jenis protozoa membelah diri menjadi banyak sel (schizogony). Pada pembelahan schizogony, inti membelah beberapa kali kemudian diikuti pembelahan sel menjadi banyak sel anakan. Perkembangbiakan secara seksual dapat melalui cara konjugasi, autogami, dan sitogami.

Protozoa yang mempunyai habitat atau inang lebih dari satu dapat mempunyai beberapa cara perkembangbiakan. Sebagai contoh spesies Plasmodium dapat melakukan schizogony secara aseksual di dalam sel inang manusia, tetapi dalam sel inang nyamuk dapat terjadi perkembangbiakan secara seksual. Protozoa umumnya berada dalam bentuk diploid.

Protozoa umumnya mempunyai kemampuan untuk memperbaiki selnya yang rusak atau terpotong. Beberapa Ciliata dapat memperbaiki selnya yang tinggal 10 % dari volume sel asli asalkan inti selnya tetap ada.¹⁶

¹⁶ Schlegel, H.G. dan K. Schmidh. *Mikrobiologi Umum*, Gadjah Mada University press., 1994.

BAB VII

VIRUS

7.1 Sejarah virus

Virus merupakan suatu partikel yang masih diperdebatkan statusnya apakah ia termasuk makhluk hidup atau benda mati. Virus dianggap benda mati karena ia dapat dikristalkan, sedangkan virus dikatakan benda hidup, karena virus dapat memperbanyak diri (*replikasi*) dalam tubuh inang. Para ahli biologi terus mengungkap hakikat virus ini sehingga akhirnya partikel tersebut dikelompokkan sebagai makhluk hidup dalam dunia tersendiri yaitu virus. Virus merupakan organisme non-seluler, karena ia tidak memiliki kelengkapan seperti sitoplasma, organel sel, dan tidak bisa membelah diri sendiri.

Penyelidikan tentang objek-objek berukuran sangat kecil di mulai sejak ditemukannya mikroskop oleh Antony Van Leeuwenhoek (1632-1723) perkembangan mikroskop ini mendorong berbagai penemuan dibidang biologi salah satunya partikel mikroskopik yaitu virus.

Beberapa tokoh dalam penemuan virus pertama yaitu:

a. Adoft Mayer (1883, Jerman)

Percobaan diawali dari munculnya penyakit bintik kuning pada daun tembakau. Ia mencoba menyemprotkan getah tanaman sakit ke tanaman sehat, hasilnya tanaman.

b. Dmitri Ivanovski (1892, Rusia)

Ia mencoba menyaring getah tanaman yang sakit dengan filter bakteri sebelum disemprotkan ke tanaman sehat. Hasilnya, tanaman sehat tetap tertular. Ia menyimpulkan bahwa ada partikel yang lebih kecil lagi dari bakteri yang lolos saringan yang menularkan penyakit.

c. Martinus W. Beijerinck (1896, Belanda)

Ia menemukan bahwa partikel itu dapat bereproduksi pada tanaman, tapi tidak pada medium pertumbuhan bakteri. Ia menyimpulkan bahwa partikel itu hanya dapat hidup pada makhluk hidup yang diserangnya.

d. Wendel M. Stanley (1935, Amerika)

Ia berhasil mengkristalkan partikel tersebut. Partikel mikroskopis itu lalu dinamai **TMV** (Tobacco Mosaic Virus).¹⁷

7.2 Pengertian Virus

Virus berasal dari bahasa Yunani "*Venom*" yang berarti racun. Virus adalah parasit mikroskopik yang menginfeksi organisme biologis. Secara umum virus merupakan partikel tersusun atas elemen genetik (genom) yang mengandung salah satu asam nukleat yaitu asam deoksiribonukleat (DNA) atau asam ribonukleat (RNA) yang dapat berada dalam dua kondisi yang berbeda, yaitu secara intraseluler dalam tubuh inang dan ekstraseluler diluar tubuh inang. Virus memiliki sifat hidup dan mati. Sifat hidup (seluler) yaitu memiliki asam nukleat namun tidak keduanya (hanya DNA atau RNA), dapat bereproduksi dengan replikasi dan hanya dapat

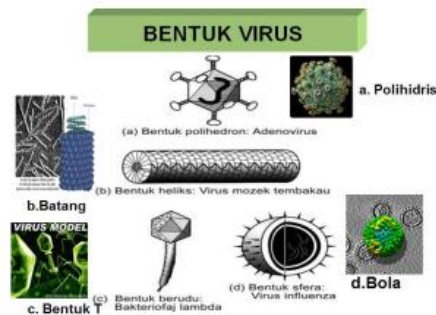
¹⁷ Garry. 2002. Tobacco Mosaic Virus. In: Plant disease Facts. Departemen of Plant Pathology. University of Pennsylvania State University. 152 Hal

dilakukan didalam sel inang (parasit obligat intraseluler). Sifat mati (aseluler) yaitu dapat di kristalkan dan dicairkan. Struktur berbeda dengan sel dan tidak melakukan metabolisme sel.

Partikel virus secara keseluruhan ketika berada di luar inang yang terdiri dari asam nukleat yang dikelilingi oleh protein dikenal dengan nama **virion**. Virion tidak melakukan aktivitas biosintesis dan reproduksi. Pada saat virion memasuki sel inang, baru kemudian akan terjadi proses reproduksi. Virus ketika memasuki sel inang akan mengambil alih aktivitas inang untuk menghasilkan komponen-komponen pembentuk virus.

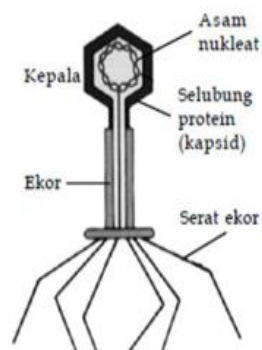
7.3 Bentuk dan Ukuran virus

Bentuk virus bervariasi dari segi ukuran, bentuk dan komposisi kimianya. Bentuk virus ada yang berbentuk bulat, oval, memanjang, silindris, dan ada juga yang berbentuk T. Ukuran Virus sangat kecil, hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron, ukuran virus lebih kecil daripada bakteri. Ukurannya berkisar dari 0,02 mikrometer sampai 0,3 mikrometer ($1\ \mu\text{m} = 1/1000\ \text{mm}$). Unit pengukuran virus biasanya dinyatakan dalam nanometer (nm). 1 nm adalah 1/1000 mikrometer dan seperjuta milimeter. Virus cacar merupakan salah satu virus yang ukurannya terbesar yaitu berdiameter 200 nm, dan virus polio merupakan virus terkecil yang hanya berukuran 28 nm.



Gambar 7.1 Bentuk Virus

7.4 Susunan Tubuh Virus



Gambar 7.2 Struktur Tubuh Virus

1. Kapsid

Kapsid adalah lapisan pembungkus tubuh virus yang tersusun atas protein. Kapsid terdiri dari sejumlah kapsomer yang terikat satu sama lain.

Fungsi: a. Memberi bentuk virus, b. Pelindung dari kondisi lingkungan yang merugikan, c. Mempermudah penempelan pada proses penembusan ke dalam sel.

2. Isi

Terdapat di sebelah dalam kapsid berupa materi genetik/ molekul pembawa sifat keturunan yaitu DNA atau RNA. Virus hanya memiliki satu asam nukleat saja yaitu satu DNA/ satu RNA saja, tidak kedua-duanya. Asam nukleat sering bergabung dengan protein disebut nukleoprotein. Virus tanaman/ hewan berisi RNA/ DNA, virus fage berisi DNA.

3. Kepala

Kepala virus berisi DNA, RNA dan diselubungi oleh kapsid. Kapsid tersusun oleh satu unit protein yang disebut kapsomer.

4. Ekor

Serabut ekor adalah bagian yang berupa jarum dan berfungsi untuk menempelkan tubuh virus pada sel inang. Ekor ini melekat pada kepala kapsid. Struktur virus ada 2 macam yaitu virus telanjang dan virus terselubung (bila terdapat selubung luar (*envelope*) yang terdiri dari protein dan lipid). Ekor virus terdiri atas tabung bersumbat yang dilengkapi benang atau serabut. Khusus untuk virus yang menginfeksi sel eukariotik tidak memiliki ekor.

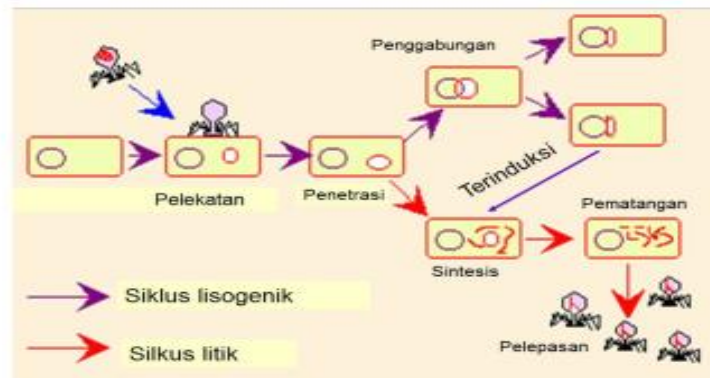
7.5 Pengembangbiakan Virus

Virus memanfaatkan metabolisme sel penjamu untuk membantu sintesis protein virus dan virion baru; jenis sel yang dapat diinfeksi oleh virus dapat sedikit dapat banyak. Untuk tujuan diagnosti, sebagian besar virus ditumbuhkan dalam biakan sel, baik turunan sel sekunder atau kontinu; pemakaian telur embrionik dan hewan percobaan untuk membiakan virus hanya dilakukan untuk investigasi khusus. Jenis biakan sel untuk mengembangbiakan virus sering berasal dari jaringan tumor, yang dapat digunakan secara terus menerus.

Replikasi virus dalam biakan sel dapat di deteksi dengan tahap-tahap replikasi :

1. Peletakan/ Adsorpsi adalah tahap penempelan virus pada dinding sel inang. Virus menempelkan sisi tempel/ *reseptor site* ke dinding sel bakteri.
2. Penetrasi sel inang yaitu enzim dikeluarkan untuk membuka dinding sel bakteri. Molekul asam.nukleat (DNA/RNA) virus bergerak melalui pipa ekor dan masuk ke dalam sitoplasma sel melalui dinding sel yang terbuka. Pada virus telanjang, proses penyusupan ini dengan cara fagositosis virion (*viropexis*), pada virus terselubung dengan cara fusi yang diikuti masuknya nukleokapsid ke sitoplasma.
3. Ekliptase : asam nukleat virus menggunakan asam nukleat bakteri untuk membentuk bagian-bagian tubuh virus
4. Pembentukan virus (*bakteriofage*) baru : bagian-bagian tubuh virus yang terbentuk digabungkan untuk menjadi virus baru. 1 sel bakteri dihasilkan 100 – 300 virus baru

5. Pemecahan sel inang : pecahnya sel bakteri. Dengan terbentuknya enzim lisoenzim yang melarutkan dinding sel bakteri sehingga pecah dan keluarlah virus-virus baru yang mencari sel bakteri lain.¹⁸



Gambar 7.3 Replikasi Virus

7.6 Klasifikasi Virus

Nama famili ditandai dengan akhiran viridae. Nama subfamili diberi akhiran virinae. Nama akhiran genus diberi akhiran virus. Lwoff, Horne & Tournier adalah ahli dalam taksonomi virus, berdasarkan kriteria:

1. Jenis asam nukleat (DNA/ RNA) berantai ganda/ tunggal
2. Ukuran & morfologi termasuk tipe simetri kapsid
3. Adanya enzim spesifik, terutama polimerase RNA & DNA yang penting bagi replikasi genom
4. Kepekaan terhadap zat kimia & keadaan fisik
5. Cara penyebaran alamiah
6. Gejala yang timbul
7. Ada tidaknya selubung
8. Banyaknya kapsomer untuk virus ikosohedral/ diameter nukleokapsid untuk virus helikoidal.

Saat ini telah lebih dari 61 famili virus diidentifikasi, 21 diantaranya mempunyai anggota yang mampu menyerang manusia dan binatang.

Menurut RNA, famili virus dibagi menjadi :

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1. Picornaviridae | 8. Rhabdoviridae |
| 2. Caliciviridae | 9. Filoviridae |
| 3. Togaviridae | 10. Paramyxoviridae |
| 4. Flaviviridae | 11. Orthomyxoviridae |
| 5. Bunyaviridae | 12. Reoviridae |
| 6. Arenaviridae | 13. Retroviridae |
| 7. Coronaviridae | |

Menurut DNA, famili virus dibagi menjadi :

- | | |
|-----------------|------------------|
| 1. Adenoviridae | 4. Papovaviridae |
|-----------------|------------------|

¹⁸ Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, Dasar-Dasar Mikrobiologi, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta.

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 2. Herpesviridae | 5. Parvoviridae |
| 3. Hepadnaviridae | 6. Poxviridae |

Selain itu tdpt kelompok virus yang belum dpt diklasifikasikan (*unclassified virus*) krn byk sifat biologiknya belum diketahui.

7.7 Peran Virus

Didalam kehidupan, virus memiliki 2 peran, yaitu peran virus sebagai mikroorganisme yang menguntungkan, maupun yang merugikan.

Virus yang menguntungkan: Virus berperan penting dalam bidang rekayasa genetika karena dapat digunakan untuk cloning gen (reproduksi DNA yang secara genetis identik). Sebagai contoh adalah virus yang membawa gen untuk mengendalikan pertumbuhan serangga. Virus juga digunakan untuk terapi gen manusia sehingga diharapkan penyakit genetis, seperti diabetes dan kanker dapat disembuhkan.

Virus yang merugikan : Virus yang dapat merugikan karena menyebabkan berbagai jenis penyakit pada manusia, hewan dan tumbuhan.

7.8 Penyakit – Penyakit Akibat Virus

Proses infeksi virus dpt melalui berbagai jaringan.

- Melalui saluran pernafasan; contoh : virus influenza penyebab influenza, virus rubeola penyebab campak, coronavirus penyebab SARS, virus variola penyebab penyakit cacar, virus varicella penyebab penyakit cacar air.
- Melalui saluran pencernaan; contoh : virus hepatitis A, B, poliomyelitis penyebab polio, rotavirus penyebab diare.
- Melalui kulit & mukosa genitalia; contoh : virus herpes simplex 1 penyebab stomatitis, flavivirus penyebab DBD, rabies penyebab rabies, cytomegalovirus penyebab hepatitis
- Melalui plasenta; contoh : virus rubella, cytomegalovirus.

Beberapa virus yang merugikan

1. Virus Hepatitis

Hepatitis adalah istilah umum yang berarti radang hati dan dapat disebabkan oleh berbagai virus yang berbeda seperti virus hepatitis A, B, C, D, E. Karena perkembangan penyakit kuning merupakan fitur karakteristik penyakit hati.

a) virus Hepatitis A (HAV)

Anggota virus famili picornaviridae, genus hepatovirus, virus RNA tidak berselubung berukuran 28-32 nm, hanya terdiri dari satu serotipe.

Epidemiologi : Sumber ledakan kasus biasanya air minum dan makanan yang tercemar. Sebagian besar infeksi di daerah endemis (negara berkembang, kelompok sosial ekonomi rendah). Kebanyakan bersifat asimtomatis. Pernah terjadi ledakan kasus akibat pengelolaan makanan yang terinfeksi dan ingesti kerang yang tercemar.

Patogenesis : Transmisi terjadi secara fekal-oral. Dengan masa tunas 3-5 minggu (rata-rata 30 hari). Virus terdapat dalam darah sejak 2 minggu sebelum hingga 1 minggu sesudah timbul ikterus dan sedikit lama di tinja. Semua kelompok usia rentan terjangkit infeksi hepatitis A dan keparahan penyakit meningkat seiring

peningkatan usia. Kadang kadang HAV juga ditularkan melalui kontak seksual (anal-oral) dan transfusi darah.

Sebagian besar kasus terjadi pemulihan sempurna, dengan respons antibodi spesifik yang menetap seumur hidup. Tidak terdapat *carrier* atau penyakit kronis.

Diagnosis : diagnosis ditegakkan dengan melalui pemeriksaan serologi (EIA) terhadap IgM spesifik HAV (Infeksi Akut) atau IgG (status imun)

Terapi : pengobatan simptomatik dan suportif.

Pencegahan : Sanitasi yang adekuat dan higiene perorangan yang baik akan menurunkan transmisi HAV. Vaksin inaktif telah tersedia untuk perlindungan secara aktif. Individu dapat secara pasif terlindungi dengan menggunakan imunoglobulin.

b) Virus Hepatitis B (HBV)

Dari beberapa penyakit akibat virus hepatitis, virus hepatitis B memperoleh perhatian lebih besar secara global. Hepatitis B merupakan penyakit menular yang serius dan umum dari hati. Merupakan anggota dari famili *hepadnaviridae*, virus DNA berukuran kecil beruntai ganda parsial 3,2 kb yang mengkode tiga protein permukaan, yaitu antigen permukaan (HbsAg), Antigen inti (HbcAg), protein pra inti (HbeAg), protein polimerase aktif yang besar, dan protein transaktivator.

Epidemiologi : Virus hepatitis B tersebar ke seluruh dunia, dengan lebih dari 200 *carrier*. Sekitar 10 % pasien hepatitis B akut akan menjadi kronis. Insiden bervariasi berbanding terbalik dengan usia sekitar 90 % pada neonatus dan < 10 % pada orang dewasa akan mengalami hepatitis B kronis.

Patogenesis : HBV ditransmisikan melalui rute parenteral (melalui darah dan produk darah), kongenital, dan seksual. Secara vertikal melalui pasase di jalan lahir (ini merupakan cara penularan di Afrika dan Asia). Masa tunas 50-180 hari. Replikasi virus hepar menyebabkan lisis hepatosit oleh sel T sitotoksik. Kerusakan hepar pulih dalam 8-12 minggu pada $\geq 90\%$ kasus ; menjadi *carrier* kronis (HBsAg menetap > 6 bulan). 95% bayi baru lahir dari ibu *carrier* ini akan menjadi *carrier* jika tidak diobati. Penyakit yang disebabkan oleh HBV adalah Hepatitis akut, kronis, dan fulminan; sirosis hepatitis; dan karsinoma hepatoseluler.

Diagnosis : tes serologis dilakukan dengan immunoassay untuk mendeteksi HBcAg, HBeAg, dan antibodi terhadap HBcAg (IgM dan IgG), anti HBsAg; deteksi asam nukleat.

Terapi : interferon- α , lamivudin, atau adefovir.

Pencegahan; vaksin HBV. Imunoglobulin HBV untuk profilaksi pascapajanan dan neonatus dari ibu *carrier*. Tidak ada terapi spesifik antiviral untuk hepatitis B akut. Pencegahan dengan melakukan pemeriksaan penyaring terhadap donor darah produk darah, pemakaian alat dan jarum sekali pakai, serta sterilisasi yang efisien terhadap instrumen medis. Tersedia vaksin HbsAg rekombinan dan perlu diberikan kepada kelompok berisiko, terutama petugas kesehatan. Imunoglobulin spesifik (imunisasi pasif) dapat diberikan kepada orang yang belum memiliki kekebalan namun terpajan HBV (misal: pada luka tertusuk jarum suntik) dan kepala bayi yang lahir dari ibu dengan HbeAg positif (*carrier*).

c) Virus Hepatitis C (HCV)

HCV adalah virus RNA yang masih berhubungan dengan genus *pestivirus* dari famili *flaviviridae* dengan diameter 4-50 nm. Terdapat variabilitas genom yang

tertinggi dengan sedikitnya enam genotip berbeda (paling tidak terdapat enam 1-6) dan beberapa sub tipe.

Epidemiologi :HCV terdapat diseluruh dunia. Prevalensi antibodi bervariasi antara < 1 % di AS dan Eropa barat dan 2% di Italia bagian selatan, Spanyol, dan Eropa Tengah. Angka prevalensi yang lebih tinggi, hingga 20%, terdeteksi di Mesir. Angka prevalensi yang tinggi juga di jumpai pada para pemakai narkoba intravena.

Patogenesis :HCV memiliki patogenesis serupa dengan HBV; tetapi, berbeda dengan HBV infeksi meningkat menjadi hepatitis kronis pada 60-80% kasus. Masa tunas 2-6 bulan. Sebagian besar infeksi tidak menimbulkan gejala (80%) dan kasus simptomatis hepatitis yang terjadi biasanya ringan

Diagnosis : ditegakkan dengan pemeriksaan serologi yaitu EIA untuk mendeteksi antibodi HCV dan dengan metode deteksi asam nukleat.

Terapi : interferon- α dan ribavirin.

Pencegahan : prinsipnya sama dengan pencegahan HBV.

d) Virus Hepatitis D (HDV)

Virus hepatitis D adalah sebuah virus RNA cacat yang dapat bereplikasi hanya pada sel yang terinfeksi HBV.

Epidemiologi : tersebar di seluruh dunia. Prevalensi tinggi di daerah mediterania, Afrika, Amerika Selatan, Jepang, dan Timur Tengah. Virus ini juga memiliki cara penularan dan kelompok resiko yang sama dengan yang dijumpai pada HBV.

Patogenesis : infeksi berupa ko-infeksi bersama HBV.

Diagnosis : serologi (EIA) dapat digunakan untuk mendeteksi antibodi dan antigen HDV.

Pencegahan :Vaksin HBV

e) Virus Hepatitis E (HEV)

Morfologi, ukuran dan susunan genom mirip calicivirus tetapi virus ini blm diklasifikasikan tersendiri. Serotipe tunggal.

Epidemiologi :endemis di sub kontinen India, Asia Tenggara, Timur Tengah, Afrika Utara, Dan Amerika Tengah. Sumber ledakan kasus adalah air dan makanan yang tercemar. Di negara maju kasus sporadis ditemukan pada pelancong yang baru kembali dari daerah endemis.

Patogenesis : penularan melalui fecal-oral dan melalui transfusi darah di negara endemis (jarang). Masa tunas 6 minggu. Infeksi memicu pembentukan antibodi IgM dan IgG spesifik. Penyakit yang disebabkan oleh HEV yaitu hepatitis akut swasirna tanpa tanda-tanda infeksi kronis. Angka kematian tinggi (10-20%) pada wanita hamil.

Diagnosis : serologi; deteksi asam nukleat.

2. Human Immunodeficiency Virus (HIV)

Merupakan anggota subfamili lentivirinae dari famili retroviridae. Virus RNA berselubung. Dengan diameter 100-150 nm. HIV adalah retrovirus yang biasanya menyerang organ vital sistem kekebalan manusia seperti sel TCD4+(sejenis sel T), makrofag, dan sel dendritik. Bereplikasi melalui DNA perantara menggunakan DNA polimer yang dikendalikan oleh RNA (reverse transcriptase). Terdapat 2 tipe yaitu: HIV-1 dan HIV-2. HIV-1 dibagi menjadi 3 kelompok: kelompok M, O, N.

Epidemiologi: sejak tahun 1981 telah terjadi penyebaran HIV ke seluruh dunia. Perkiraan prevalensi diseluruh dunia sangat bervariasi. Kelompok utama yang berisiko terinfeksi HIV adalah: Homoseksual, Pemakai narkoba intravena,

Penderita Hemofilia dan penerima transfusi darah. Orang yang sering berganti pasangan seksual, anak yang lahir dengan ibu yang terinfeksi HIV, kontak heteroseksual dengan orang yang terinfeksi.

Patogenesis: HIV secara langsung dan tidak langsung merusak sel T CD4+, padahal sel T CD4+ dibutuhkan agar sistem kekebalan tubuh berfungsi baik. Jika HIV membunuh sel T CD4+ sampai terdapat kurang dari 200 sel T CD4+ per mikroliter (μ L) darah, kekebalan selular hilang, dan akibatnya ialah kondisi yang disebut AIDS. Infeksi akut HIV dilanjutkan dengan infeksi HIV laten klinis sampai terjadinya gejala infeksi HIV awal dan kemudian AIDS, yang diidentifikasi berdasarkan jumlah sel T CD4+ di dalam darah dan adanya infeksi tertentu. AIDS merupakan bentuk terparah akibat infeksi HIV. Setelah infeksi primer, berlangsung fase infeksi asimtomatik selama 2-15 tahun. Selama periode ini terjadi produksi HIV dalam jumlah besar dan menurun jumlah limfosit. Penyakit yang diakibatkan oleh HIV, AIDS ditandai oleh penyakit berat akibat infeksi generalisasi oleh bakteri, virus, jamur, protozoa bahkan tumor.

Diagnosis : deteksi antigen dan antibodi HIV-spesifik melalui tes aglutinasi partikel pasif (PPAT), EIA, dan western blot (WB). Teknik molekular untuk mendeteksi HIV, perhitungan jumlah virus (viral load), dan penemuan resistensi obat telah menjadi bagian yang penting dalam diagnosis dan penanganan klinis pasien.

Terapi : terdapat beberapa kelas obat antiretroviral untuk mengobati untuk mengobati yaitu: nucleoside reverse transcriptase inhibitor (misal : zidovudin, lamivudin), non-nucleoside reverse transcriptase inhibitor (misal: nevirapin dan delavirdin), inhibitor protease (misal indinavir, zidovudin), dan inhibitor fusi (T-20 enfuvirtide). Kombinasi tiga jenis obat (highly active antiretroviral therapy atau HAART) adalah terapi baku yang telah di terima.

Pencegahan dan pengendalian: belum ada obat antivirus HIV. Belum ada vaksin, pemeriksaan untuk semua donor darah dan donor organ, kampanye informasi, program gantian jarum dan pemakaian kondom.

3. Virus Dengue

Virus Dengue hanya dapat hidup dalam sel hidup, merupakan salah satu virus yang termasuk dalam famili Flaviviridae. Virion Dengue merupakan partikel sferis dengan diameter nukleokapsid 30nm dan ketebalan selubung 10 nm, sehingga diameter virion kira-kira 50 nm. Genom virus Dengue terdiri dari asam ribonukleat berserat tunggal , panjangnya kira-kira 11 kilobasa. Genom terdiri dari protein struktural dan protein non struktural, yaitu gen C mengkode sintesa nukleokapsid (Capsid), gen M mengkode sintesa protein M (Membran) dengan E mengkode sintesa glikoprotein selubung (Envelope).

Virus dengue mempunyai 4 jenis serotipe yaitu DEN-1, DEN-2, DEN-3, dan DEN-4. Masing-masing tipe mempunyai sub tipe (strain) yang jumlahnya ratusan, sesuai daerah atau asal virus itu. Serotipe DEN-2 dan DEN-3 adalah penyebab wabah demam berdarah di Asia Tenggara.

Infeksi DD/DBD dapat ditularkan padamanusia melalui gigitan vector nyamuk Aedes aegypti dan Aedes albopictus betina. Virus dengue mampu berkembang biak didalam tubuh hospes (manusia, monyet, simpanse, kelinci, mencit, marmut, tikus, hamster serta serangga khususnya nyamuk). Kontrol dan pencegahan virus dengue dilakukan PSN (pemberantasan sarang nyamuk dengan menguras atau larvasida dan penyemprotan nyamuk dewasa dengan insektisida.

Kontrol epidemi yang terpenting adalah dengan membunuh nyamuk vektor betina dewasa. Menghambat perkembangan nyamuk.

4. Virus Polio

Virus polio merupakan penyebab penyakit polio. Penyakit polio terutama menyerang pada anak-anak kecil. Polio dapat menyebabkan demam, sakit kepala, muntah, sakit perut, nyeri otot, kekakuan pada leher dan punggung, serta kelumpuhan. Kebanyakan pasien akan pulih, namun dalam kasus yang parah, penyakit ini dapat menyebabkan cacat permanen dan kematian. Penyakit ini sangat menular. Polio menyebar dari orang ke orang, terutama melalui rute dari tinja ke mulut. Virus memasuki tubuh melalui rute mulut dan akhirnya menyerang sistem saraf pusat. Masa inkubasi 7-14 hari, dengan kurun waktu antara 3-35 hari. Orang yang diduga terinfeksi harus dirujuk ke rumah sakit untuk penanganan lebih lanjut dan isolasi. Dewasa ini, tidak ada perawatan penyembuhan untuk penyakit tersebut.

Pencegahan yang efektif dapat dilakukan dengan Vaksinasi. Terdapat dua jenis vaksin polio: Vaksin Polio Oral (OPV) yang diberikan melalui mulut dan Vaksin Polio Inaktivasi (IPV) yang diberikan melalui suntikan.

5. Paramyxovirus

Virus RNA berselubunga berbentuk bulat atau pleomorfik, berdiameter 150-300 nm, genom tidak bersegmen. Memiliki 4 genus yaitu: pneumovirus, paramyxovirus (parainfluenzavirus tipe 1-4), rubulavirus (virus mumps), morbillivirus (virus campak).

a) Pneumovirus (Respiratory syncytial virus (RSV))

Penyakit yang disebabkan oleh virus ini adalah : bronkiolitis. Tersebar diseluruh dunia; aktivitas meningkat selama musim dingin di bagian dunia beriklim dingin dan di sepanjang tahun di daerah yang lebih panas. Menginfeksi > 50% bayi berusia < 1 tahun. Penularan terjadi melalui aerosol partikel besar atau benda bergerak; masa tunas 2-8 hari, menginfeksi epitel traktus respiratorius atas dan kemudian menyebar ke seluruh traktus respiratori bawah.

b) Virus parainfluenza

Virus parainfluenza merupakan penyebab terbesar dari sindroma batuk rejan, bronkiolitis dan penyakit demam saluran nafas bagian atas. Untuk virus influenza bukan penyebab terbesar terjadinya sindroma saluran pernafasan kecuali hanya epidemi-epidemi saja. Pada bayi dan anak-anak, virus influenza merupakan penyebab terjadinya lebih banyak penyakit saluran nafas bagian atas dari pada saluran nafas bagian bawah.

c) Virus campak

Campak yang disebut juga dengan measles atau rubella merupakan suatu penyakit infeksi akut yang sangat menular, disebabkan oleh paramyxovirus yang pada umumnya menyerang anak-anak. Penyakit ini ditularkan dari orang ke orang melalui percikan liur (droplet) yang terhirup. Virus campak sangat sensitif terhadap temperatur sehingga virus ini menjadi tidak aktif pada suhu 37 derajat Celcius atau bila dimasukkan ke dalam lemari es selama beberapa jam. Dengan pembekuan lambat maka infektivitasnya akan hilang. Gejala-gejala eksanтем akut, demam, kadang kataral selaput lendir dan saluran pernapasan, gejala-gejala mata, kemudian diikuti erupsi makulopapula yang berwarna merah dan diakhiri dengan deskuamasi dari kulit. Campak adalah penyakit yang sangat

menular yang dapat menginfeksi anak-anak pada usia dibawah 15 bulan, anak usia sekolah atau remaja dan kadang kala orang dewasa. Campak endemis di masyarakat metropolitan dan mencapai proporsi untuk menjadi epidemi setiap 2-4 tahun ketika terdapat 30-40% anak yang rentan atau belum mendapat vaksinasi. Pada kelompok dan masyarakat yang lebih kecil, epidemi cenderung terjadi lebih luas dan lebih berat. Setiap orang yang telah terkena campak akan memiliki imunitas seumur hidup.

d) Virus mumps

Mumps virus adalah RNA virus yang termasuk dalam genus Rubulavirus. Virus ini merupakan virus yang memiliki amplop dan pada sepanjang permukaannya terdapat tonjolan-tonjolan yang terlihat menyerupai paku-paku yang besar. Penyakit akibat infeksi dari mumps virus adalah penyakit beguk, yang dalam bahasa Inggrisnya disebut mumps. Virus ini akan menyerang kelenjar air liur (kelenjar parotid). Gejala yang paling umum apabila seseorang terinfeksi mumps virus adalah pembengkakan pada kelenjar parotid, panas tinggi, dan sakit pada saat menelan. Perawatan dapat dilakukan dengan cara memberi Paracetamol atau Acetaminophen pada anak yang menderita gejala demam. Penyakit beguk atau mumps dapat dicegah dengan cara imunisasi. Nama imunisasi untuk mencegah infeksi mumps virus adalah MMR (untuk pertahanan terhadap Measles, Mumps, dan Rubella). Penyakit beguk / mumps dapat menular dari satu orang ke orang lainnya melalui droplet ludah atau kontak langsung dengan bahan yang terkontaminasi oleh ludah yang terinfeksi. Orang yang sudah pernah terinfeksi mumps virus tidak akan terinfeksi untuk kedua kalinya. Hal ini karena mumps virus hanya memiliki satu jenis antigen virus yang dapat menyerang korbannya.

6. Virus Rabies

Virus rabies adalah single stranded RNA, berbentuk seperti peluru berukuran 180 x 75 μm . Sampai saat ini sudah dikenal 7 genotip Lyssavirus dimana genotip 1 merupakan penyebab rabies yang paling banyak di dunia. Virus ini bersifat labil dan tidak viable bila berada diluar inang. Virus menjadi tidak aktif bila terpapar sinar matahari, sinar ultraviolet, pemanasan 1 jam selama 50 menit, pengeringan, dan sangat peka terhadap pelarut alkalis seperti sabun, desinfektan, serta alkohol 70%. Reservoir utama rabies adalah anjing domestik.

Rabies yaitu penyakit zoonosis yang disebabkan oleh virus RNA dari genus Lyssavirus, famili Rhabdoviridae, virus berbentuk seperti peluru yang bersifat neurotropis, menular dan sangat ganas. Reservoir utama rabies adalah anjing domestik. Sebagian besar kasus (98%) disebabkan oleh gigitan anjing, sedangkan sisanya oleh hewan lain seperti monyet dan kucing. Rabies adalah infeksi virus akut yang menyerang sistem saraf pusat manusia dan mamalia. Penyakit ini sangat ditakuti karena prognosisnya sangat buruk. Pada pasien yang tidak divaksinasi, kematian mencapai 100%. Di Indonesia, sampai tahun 2007, rabies masih tersebar di 24 propinsi, hanya 9 propinsi yang bebas dari rabies, yaitu Bangka Belitung, Kepulauan Riau, DKI Jakarta, Jawa Tengah, Jawa Timur, Yogyakarta, NTB, Bali, Papua Barat dan Papua.

7. Virus Herpes Simpleks (HSV)

Virus Herpes Simpleks adalah virus DNA yang dapat menyebabkan infeksi akut pada kulit yang ditandai dengan adanya vesikel yang berkelompok di atas kulit yang sembab. Ada 2 tipe virus herpes simpleks yang sering menginfeksi

yaitu : a) HSV-Tipe I (Herpes Simplex virus Type I), b) HSV-Tipe II (Herpes Simplex Virus Type II). HSV-Tipe I biasanya menginfeksi daerahmulut dan wajah (Oral Herpes), sedangkan HSV-Tipe II biasanya menginfeksi daerah genital dan sekitar anus (Genital Herpes). HSV-1 menyebabkan munculnya gelembung berisi cairan yang terasa nyeri pada mukosa mulut, wajah, dan sekitar mata. HSV-2 atau herpes genital ditularkan melalui hubungan seksual dan menyebabkan gelembung berisi cairan yang terasa nyeri pada membranmukosa alat kelamin. Infeksi pada vagina terlihat seperti bercak dengan luka. Pada pasien mungkin muncul iritasi, penurunan kesadaran yang disertai pusing, dan kekuningan pada kulit (jaundice) dan kesulitan bernapas atau kejang. Penyebaran terjadi melalui kontak langsung (rute utama penularan (HSV-2) adalah melalui aktivitas seksual). Masa tunas bervariasi (2-12 hari).

8. Virus Varisela-Zoster (VZV)

Merupakan virus DNA terselubung, berdiameter 150-200 nm. Menyebabkan penyakit cacar air. Virus ini tersebar di seluruh dunia. Infeksi di peroleh secara dini pada masa kanak-kanak. Penyebaran melalui droplet atau kontak langsung dengan cairan vesikel. Masa tunas 2 minggu dengan rentang 7-23 hari. Virus masuk melalui traktus respiratorius diikuti oleh viremia dan ruam generalisata (cacar air). Pencegahan pasif dengan imunoglobulin zoster (ZIG) untuk melindungi kelompok seronegatif yang berisiko mengalami infeksi VZV, yaitu wanita hamil dan pasien dengan gangguan imunitas. Pencegahan pasif dengan virus yang dilemahkan.

9. Virus Influenza tipe A

Merupakan penyebab penyakit flu burung, salah satu virus yang harus di waspadai yaitu dengan tipe H5N1 (H = *Haemagglutinin*, N= *neuramidase*). Virus ini selain dapat menular dari burung ke burung, ternyata dapat pula menular dari burung ke manusia. Virus ini termasuk dalam famili *Orthomyxoviridae*. Virus ini dapat bertahan hidup di air sampai 4 hari pada suhu 22°C. Virus akan mati pada pemanasan 60° C selama 30 menit atau 56°C selama 3 jam, dengan detergent, desinfektan misal formalin, serta cairan yang mengandung iodine.

BAB VIII

NUTRISI DAN MEDIUM KULTUR MIKROBA

Medium pertumbuhan (disingkat medium) adalah tempat untuk menumbuhkan mikroba. Mikroba memerlukan nutrisi untuk memenuhi kebutuhan energi dan untuk bahan pembangun sel, untuk sintesa protoplasma dan bagian-bagian sel lain. Setiap mikroba mempunyai sifat fisiologi tertentu, sehingga memerlukan nutrisi tertentu pula.¹⁹

Susunan kimia sel mikroba relatif tetap, baik unsur kimia maupun senyawa yang terkandung di dalam sel. Dari hasil analisis kimia diketahui bahwa penyusun utama sel adalah unsur kimia C, H, O, N, dan P, yang jumlahnya + 95 % dari berat kering sel, sedangkan sisanya tersusun dari unsur-unsur lain (Lihat Tabel). Apabila dilihat susunan senyawanya, maka air merupakan bagian terbesar dari sel, sebanyak 80-90 %, dan bagian lain sebanyak 10-20 % terdiri dari protoplasma, dinding sel, lipida untuk cadangan makanan, polisakarida, polifosfat, dan senyawa lain.

Tabel. 1 Susunan unsur-unsur penyusun sel bakteri *E. coli*

8.1 Fungsi Nutrisi Untuk Mikroba

Setiap unsur nutrisi mempunyai peran tersendiri dalam fisiologi sel. Unsur tersebut diberikan ke dalam medium sebagai kation garam anorganik yang jumlahnya berbeda-beda tergantung pada keperluannya. Beberapa golongan mikroba misalnya diatomae dan alga tertentu memerlukan silika (Si) yang biasanya diberikan dalam bentuk silikat untuk menyusun dinding sel. Fungsi dan kebutuhan natrium (Na) untuk beberapa jasad belum diketahui jumlahnya. Natrium dalam kadar yang agak tinggi diperlukan oleh bakteri tertentu yang hidup di laut, alga hijau biru, dan bakteri fotosintetik. Natrium tersebut tidak dapat digantikan oleh kation monovalen yang lain.

Jasad hidup dapat menggunakan makanannya dalam bentuk padat maupun cair (larutan). Jasad yang dapat menggunakan makanan dalam bentuk padat tergolong tipe *holozoik*, sedangkan yang menggunakan makanan dalam bentuk cair tergolong tipe *holofitik*. Jasad holofitik dapat pula menggunakan makanan dalam bentuk padat, tetapi makanan tersebut harus dicernakan lebih dulu di luar sel dengan pertolongan enzim ekstraseluler. Pencernaan di luar sel ini dikenal sebagai *extracorporeal digestion*.²⁰

Bahan makanan yang digunakan oleh jasad hidup dapat berfungsi sebagai sumber energi, bahan pembangun sel, dan sebagai aseptor atau donor elektron. Dalam garis besarnya bahan makanan dibagi menjadi tujuh golongan yaitu air, sumber energi, sumber karbon, sumber aseptor elektron, sumber mineral, faktor tumbuh, dan sumber nitrogen.

1. Air; air merupakan komponen utama sel mikroba dan medium. Fungsi air adalah sebagai sumber oksigen untuk bahan organik sel pada respirasi. Selain itu air berfungsi sebagai pelarut dan alat pengangkut dalam metabolisme.

¹⁹ Waluyo, L. (2004). Mikrobiologi Umum. Malang: Universitas Muhammadiyah. Malang Press.

²⁰ Radji, M. 2010. Mikrobiologi : Panduan Mahasiswa Farmasi dan Kedokteran. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC.

2. Sumber energi; ada beberapa sumber energi untuk mikroba yaitu senyawa organik atau anorganik yang dapat dioksidasi dan cahaya terutama cahaya matahari.

3. Sumber karbon; sumber karbon untuk mikroba dapat berbentuk senyawa organik maupun anorganik. Senyawa organik meliputi karbohidrat, lemak, protein, asam amino, asam organik, garam asam organik, polialkohol, dan sebagainya. Senyawa anorganik misalnya karbonat dan gas CO₂ yang merupakan sumber karbon utama terutama untuk tumbuhan tingkat tinggi.

4. Sumber asektor elektron; proses oksidasi biologi merupakan proses pengambilan dan pemindahan elektron dari substrat. Karena elektron dalam sel tidak berada dalam bentuk bebas, maka harus ada suatu zat yang dapat menangkap elektron tersebut. Penangkap elektron ini disebut asektor elektron. Asektor elektron ialah agensia pengoksidasi. Pada mikrobia yang dapat berfungsi sebagai asektor elektron ialah O₂, senyawa organik, NO₃⁻, NO₂⁻, N₂O, SO₄⁼, CO₂, dan Fe³⁺.

5. Sumber mineral; mineral merupakan bagian dari sel. Unsur penyusun utama sel ialah C, O, N, H, dan P. unsur mineral lainnya yang diperlukan sel ialah K, Ca, Mg, Na, S, Cl. Unsur mineral yang digunakan dalam jumlah sangat sedikit ialah Fe, Mn, Co, Cu, Bo, Zn, Mo, Al, Ni, Va, Sc, Si, Tu, dan sebagainya yang tidak diperlukan jasad. Unsur yang digunakan dalam jumlah besar disebut unsur makro, dalam jumlah sedang unsur oligo, dan dalam jumlah sangat sedikit unsur mikro. Unsur mikro sering terdapat sebagai ikutan (*impurities*) pada garam unsur makro, dan dapat masuk ke dalam medium lewat kontaminasi gelas tempatnya atau lewat partikel debu. Selain berfungsi sebagai penyusun sel, unsur mineral juga berfungsi untuk mengatur tekanan osmose, kadar ion H⁺ (kemasaman, pH), dan potensial oksidasi reduksi (*redox potential*) medium.

6. Faktor tumbuh; faktor tumbuh ialah senyawa organik yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan (sebagai *prekursor*, atau penyusun bahan sel) dan senyawa ini tidak dapat disintesis dari sumber karbon yang sederhana. Faktor tumbuh sering juga disebut zat tumbuh dan hanya diperlukan dalam jumlah sangat sedikit.

Berdasarkan struktur dan fungsinya dalam metabolisme, faktor tumbuh digolongkan menjadi asam amino, sebagai penyusun protein; base purin dan pirimidin, sebagai penyusun asam nukleat; dan vitamin sebagai gugus prostetis atau bagian aktif dari enzim.

7. Sumber nitrogen; mikroba dapat menggunakan nitrogen dalam bentuk amonium, nitrat, asam amino, protein, dan sebagainya. Jenis senyawa nitrogen yang digunakan tergantung pada jenis jasadnya. Beberapa mikroba dapat menggunakan nitrogen dalam bentuk gas N₂ (zat lemas) udara. Mikroba ini disebut mikrobia penambat nitrogen.

8.2 Penggolongan Mikroba Berdasarkan Nutrisi Dan Oksigen

1. Berdasarkan sumber karbon

Berdasarkan atas kebutuhan karbon jasad dibedakan menjadi jasad ototrof dan heterotrof. Jasad ototrof ialah jasad yang memerlukan sumber karbon dalam bentuk anorganik, misalnya CO₂ dan senyawa karbonat. Jasad heterotrof ialah jasad yang memerlukan sumber karbon dalam bentuk senyawa organik. Jasad heterotrof dibedakan lagi menjadi jasad saprofit dan parasit. Jasad saprofit ialah

jasad yang dapat menggunakan bahan organik yang berasal dari sisa jasad hidup atau sisa jasad yang telah mati. Jasad parasit ialah jasad yang hidup di dalam jasad hidup lain dan menggunakan bahan dari jasad inang (hospes)nya. Jasad parasit yang dapat menyebabkan penyakit pada inangnya disebut jasad patogen.²¹

2. Berdasarkan sumber energi

Berdasarkan atas sumber energi jasad dibedakan menjadi jasad fototrof, jika menggunakan energi cahaya; dan khemotrof, jika menggunakan energi dari reaksi kimia. Jika didasarkan atas sumber energi dan karbonnya, maka dikenal jasad fotoototrof, fotoheterotrof, khemoototrof dan khemoheterotrof. Perbedaan dari keempat jasad tersebut sbb:

Tabel 8.1 Penggolongan Jasad renik berdasarkan sumber karbon dan sumber energi

jasad	Sumber karbon	Sumber energi
Fotoototrof	Zat anorganik	Cahaya matahari
Fotoheterotrof	Zat organik	Cahaya matahari
Khemotrof	Zat anorganik	Oksidasi zat anorganik
khemoheterotrof	Zat organik	Oksidasi zat organik

3. Berdasarkan sumber donor elektron

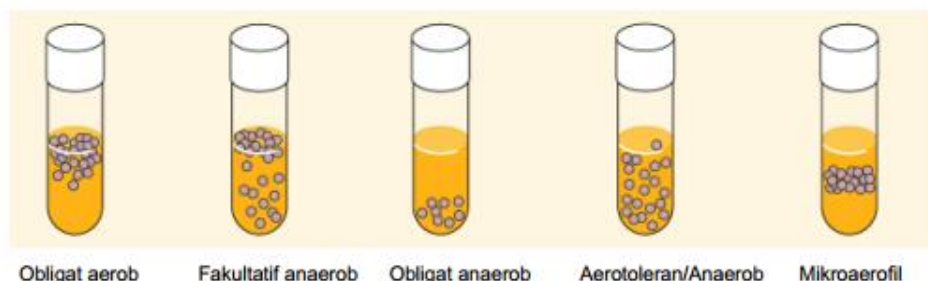
Berdasarkan atas sumber donor elektron jasad digolongkan menjadi jasad litotrof dan organotrof. Jasad litotrof ialah jasad yang dapat menggunakan donor elektron dalam bentuk senyawa anorganik seperti H_2 , NH_3 , H_2S , dan S . jasad organotrof ialah jasad yang menggunakan donor elektron dalam bentuk senyawa organik.

4. Berdasarkan sumber energi dan donor elektron

Berdasarkan atas sumber energi dan sumber donor elektron jasad dapat digolongkan menjadi jasad fotolitotrof, fotoorganotrof, khemolitotrof, dan khemoorganotrof.

5. Berdasarkan kebutuhan oksigen

Berdasarkan akan kebutuhan oksigen, jasad dapat digolongkan dalam jasad aerob, anaerob, mikroaerob, anaerob fakultatif, dan kapnofil.²² Pertumbuhan mikroba didalam media cair dapat menunjukkan sifat berdasarkan kebutuhan oksigen, seperti dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 8.1 Pertumbuhan mikroba didalam media cair

²¹ Dwidjoseputro, D. 2003. Dasar - Dasar Mikrobiologi. Djambatan. Jakarta.

²² Purwoko, T., 2007, Fisiologi Mikroba, 19, 21, Jakarta, Bumi Aksara.

Jasad aerob ialah jasad yang menggunakan oksigen bebas (O_2) sebagai satusatunya aseptor hidrogen yang terakhir dalam proses respirasinya. Jasad anaerob, sering disebut anaerob obligat atau anaerob 100% ialah jasad yang tidak dapat menggunakan oksigen bebas sebagai aseptor hidrogen terakhir dalam proses respirasinya. Jasad mikroaerob ialah jasad yang hanya memerlukan oksigen dalam jumlah yang sangat sedikit. Jasad aerob fakultatif ialah jasad yang dapat hidup dalam keadaan anaerob maupun aerob. Jasad ini juga bersifat anaerob toleran. Jasad kapnofil ialah jasad yang memerlukan kadar oksigen rendah dan kadar CO_2 tinggi.

8.3 Interaksi Antar Jasad Dalam Menggunakan Nutrien

Jika dua atau lebih jasad yang berbeda ditumbuhkan bersama-sama dalam suatu medium, maka aktivitas metabolismenya secara kualitatif maupun kuantitatif akan berbeda jika dibandingkan dengan jumlah aktivitas masing-masing jasad yang ditumbuhkan dalam medium yang sama tetapi terpisah. Fenomena ini merupakan hasil interaksi metabolisme atau interaksi dalam penggunaan nutrisi yang dikenal sebagai sintropik atau sintropisme atau sinergistik. Sebagai contoh ialah bakteri penghasil metan yang anaerob obligat tidak dapat menggunakan glukosa sebagai substrat, tetapi bakteri tersebut akan segera tumbuh oleh adanya hasil metabolisme bakteri anaerob lain yang dapat menggunakan glukosa.

Contoh lain ialah biakan campuran yang terdiri atas dua jenis mikroba atau lebih sering tidak memerlukan faktor tumbuh untuk pertumbuhannya. Mikroba yang dapat mensintesis bahan selnya dari senyawa organik sederhana dalam medium, akan mengekskresikan berbagai vitamin atau asam amino yang sangat penting untuk mikroba lainnya. Adanya ekskresi tersebut memungkinkan tumbuhnya mikroba lain. Kenyataan ini dapat menimbulkan koloni satelit yang dapat dilihat pada medium padat. Koloni satelit hanya dapat tumbuh kalau ada ekskresi dari mikroba lain yang menghasilkan faktor tumbuh esensial bagi mikroba tersebut.

Bentuk interaksi lain adalah *cross feeding* yang merupakan bentuk sederhana dari simbiose mutualistik. Dalam interaksi ini pertumbuhan jasad yang satu tergantung pada pertumbuhan jasad lainnya, karena kedua jasad tersebut saling memerlukan faktor tumbuh esensial yang diekskresikan oleh masing-masing jasad.

8.4 Medium Pertumbuhan Mikroba

Susunan dan kadar nutrisi suatu medium untuk pertumbuhan mikroba harus seimbang agar mikroba dapat tumbuh optimal. Hal ini perlu dikemukakan mengingat banyak senyawa yang menjadi zat penghambat atau racun bagi mikroba jika kadarnya terlalu tinggi (misalnya garam dari asam lemak, gula, dan sebagainya). Banyak alga yang sangat peka terhadap fosfat anorganik. Disamping itu dalam medium yang terlalu pekat aktivitas metabolisme dan pertumbuhan mikroba dapat berubah. Perubahan faktor lingkungan menyebabkan aktivitas fisiologi mikroba dapat terganggu, bahkan mikroba dapat mati.

Medium memerlukan kemasaman (pH) tertentu tergantung pada jenis jasad yang ditumbuhkan. Aktivitas metabolisme mikroba dapat mengubah pH, sehingga untuk mempertahankan pH medium ditambahkan bahan buffer. Beberapa komponen penyusun medium dapat juga berfungsi sebagai buffer.

8.5 Macam Medium Pertumbuhan

1. Medium dasar/ basal mineral

Medium dasar adalah medium yang mengandung campuran senyawa anorganik. Medium dasar ini selanjutnya ditambah zat lain apabila diperlukan, misalnya sumber karbon, sumber energi, sumber nitrogen, faktor tumbuh, dan faktor lingkungan yang penting seperti pH dan oksigen serta tekanan osmosis.

2. Medium sintetik

Medium sintetik adalah medium yang seluruh susunan kimia dan kadarnya telah diketahui dengan pasti. Sebagai contoh adalah medium dasar yang ditambah NH_4Cl (medium 1) dengan sumber karbon berupa gas CO_2 , apabila diinkubasikan dalam keadaan gelap dapat digunakan untuk menumbuhkan bakteri nitrifikasi khemoototrof, misalnya bakteri *Nitrosomonas*. Bakteri ini memperoleh energi dari oksidasi amonium, selain itu amonium juga berfungsi sebagai sumber nitrogen. Contoh lain adalah medium dengan susunan sama dengan medium 1 tetapi ditambah glukosa (medium 2). Dalam keadaan aerob merupakan medium untuk perbanyakan jamur dan bakteri yang bersifat heterotrof. Glukosa berfungsi sebagai sumber karbon dan sumber energi. Dalam keadaan anaerob, medium ini dapat digunakan untuk menumbuhkan bakteri fakultatif anaerob maupun anaerob obligat. Energi diperoleh dari hasil fermentasi glukosa. Untuk menumbuhkan mikroba yang memerlukan faktor tumbuh dapat menggunakan medium yang komposisinya sama dengan medium 2 tetapi ditambah asam nikotinat (vitamin) sebagai faktor tumbuh (medium 3).

3. Medium kompleks

Medium kompleks adalah medium yang susunan kimianya belum diketahui dengan pasti. Sebagai contoh medium ini adalah medium dasar yang ditambah glukosa dan ekstrak khamir (medium 4). Susunan kimia ekstrak khamir tidak diketahui secara pasti, tetapi mengandung berbagai faktor tumbuh yang sering diperlukan oleh mikroba. Medium ini dapat untuk menumbuhkan mikroba khemoheterotrof aerob maupun anaerob baik yang memerlukan maupun yang tidak memerlukan faktor tumbuh.

4. Medium diperkaya

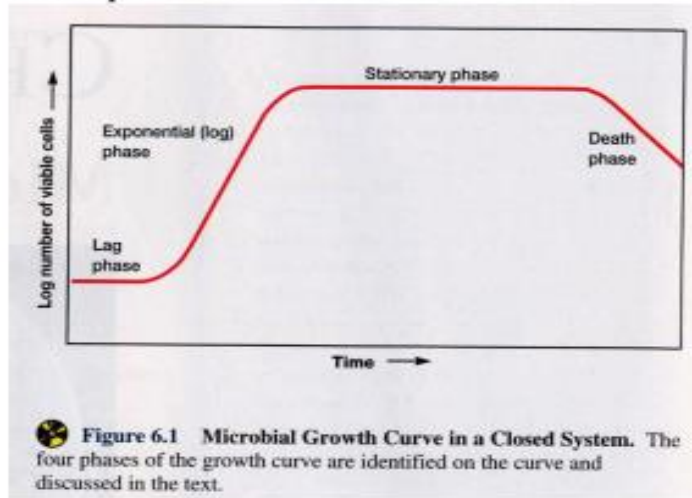
Medium-medium diperkaya adalah medium yang ditambah zat tertentu yang merupakan nutrisi spesifik untuk jenis mikroba tertentu. Medium ini digunakan untuk membuat kultur diperkaya (*enrichment culture*) dan untuk mengisolasi mikroba spesifik, dengan cara mengatur faktor lingkungan (suhu, pH, cahaya), kebutuhan nutrisi spesifik dan sifat fisiologinya. Dengan demikian dapat disusun medium diperkaya untuk bakteri yang bersifat khemoheterotrof, khemoototrof, fotosintetik, dan untuk mikroba lain yang bersifat spesifik.

8.6 Fase-Fase Pertumbuhan Mikroorganisme

Ada 4 fase kurva pertumbuhan mikroorganisme, yaitu :

1. Fase lag
2. Fase log
3. Fase stationer
4. Fase kematian

Kurva pertumbuhan mikroba :



Gambar 8.2 Kurva Pertumbuhan Mikroba

1. Fase Lag/Adaptasi.

Jika mikroba dipindahkan ke dalam suatu medium, mula-mula akan mengalami fase adaptasi untuk menyesuaikan dengan kondisi lingkungan di sekitarnya. Lamanya fase adaptasi ini dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya:

1. Medium dan lingkungan pertumbuhan

Jika medium dan lingkungan pertumbuhan sama seperti medium dan lingkungan sebelumnya, mungkin tidak diperlukan waktu adaptasi. Tetapi jika nutrient yang tersedia dan kondisi lingkungan yang baru berbeda dengan sebelumnya, diperlukan waktu penyesuaian untuk mensintesa enzim-enzim.

2. Jumlah inokulum

Jumlah awal sel yang semakin tinggi akan mempercepat fase adaptasi.

Fase adaptasi mungkin berjalan lambat karena beberapa sebab, misalnya: (1) kultur dipindahkan dari medium yang kaya nutrien ke medium yang kandungan nutriennya terbatas, (2) mutan yang baru dipindahkan dari fase statis ke medium baru dengan komposisi sama seperti sebelumnya.

2. Fase Log/Pertumbuhan Eksponensial.

Pada fase ini mikroba membelah dengan cepat dan konstan mengikuti kurva logaritmik. Pada fase ini kecepatan pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh medium tempat tumbuhnya seperti pH dan kandungan nutrient, juga kondisi lingkungan termasuk suhu dan kelembaban udara. Pada fase ini mikroba membutuhkan energi lebih banyak dari pada fase lainnya. Pada fase ini kultur paling sensitif terhadap keadaan lingkungan. Akhir fase log, kecepatan pertumbuhan populasi menurun dikarenakan :

1. Nutrien di dalam medium sudah berkurang.
2. Adanya hasil metabolisme yang mungkin beracun atau dapat menghambat pertumbuhan mikroba.

3. Fase Stationer

Pada fase ini jumlah populasi sel tetap karena jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Ukuran sel pada fase ini menjadi lebih kecil karena sel tetap membelah meskipun zat-zat nutrisi sudah habis. Karena kekurangan zat nutrisi, sel kemungkinan mempunyai komposisi yang berbeda dengan sel yang tumbuh pada fase logaritmik. Pada fase ini sel-sel lebih tahan terhadap keadaan ekstrim seperti panas, dingin, radiasi, dan bahan-bahan kimia.

4. Fase Kematian

Pada fase ini sebagian populasi mikroba mulai mengalami kematian karena beberapa sebab yaitu:

1. Nutrien di dalam medium sudah habis.
2. Energi cadangan di dalam sel habis.

Kecepatan kematian bergantung pada kondisi nutrien, lingkungan, dan jenis mikroba.²³

8.7 Kecepatan Pertumbuhan Mikroorganisme Dan Waktu Lipat Dua

Pengetahuan mengenai kecepatan pertumbuhan bersifat penting dalam menentukan keadaan atau status kultur sebagai kesatuan.

Kecepatan pertumbuhan (μ) :

$$\mu = \frac{2,303(\log n - \log n_0)}{t - t_0}$$

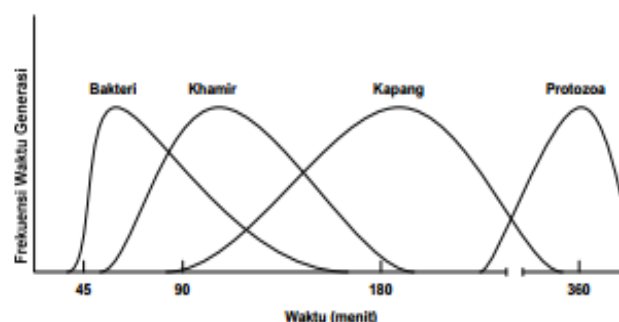
- n_0 — jumlah sel / ml awal
 n — jumlah sel / ml setelah waktu t
 t_0 — waktu awal
 t — waktu akhir

Waktu generasi (tg)

Waktu yang dibutuhkan oleh suatu kultur untuk memperbanyak jumlah / massa /komponen sel sebanyak 2x lipat, disebut juga waktu lipat dua.

$$tg = \frac{0,693}{\mu}$$

Frekuensi waktu generasi untuk berbagai mikroorganisme, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 8.3. Frekuensi Waktu Generasi pada berbagai mikroorganisme

²³ Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, Dasar-Dasar Mikrobiologi, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta.

8.8 Macam-Macam Metode Pengukuran Pertumbuhan Mikroorganisme

Metode pengukuran pertumbuhan mikroorganisme dapat dibedakan menjadi **metode langsung dan tidak langsung**. Contoh metode langsung hitungan mikroskopik (menggunakan hemositometer), digunakan untuk mengukur pertumbuhan bakteri pada susu / vaksin dan hitungan cawan digunakan untuk mengukur pertumbuhan bakteri susu, air, makanan, tanah, dan lain-lain. Contoh metode tidak langsung adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan kekeruhan, bila suspensi biakan cair & homogen
2. Berdasarkan berat kering sel, bila suspensi biakan kental & tidak homogen
3. Berdasarkan kadar nitrogen, bila suspensi biakan kental & tidak homogen
4. Berdasarkan aktivitas biokimia, menggunakan uji mikrobiologis

Hitungan mikroskopik menggunakan ruang penghitung hemositometer mempunyai kelebihan cepat dalam pengerjaannya, tetapi mempunyai beberapa kekurangannya, yaitu : tingkat kesalahan tinggi, sel mati bisa terhitung, sel ukuran kecil sulit teramati. Metode ini tidak sesuai untuk sel yang densitasnya rendah. Hitungan cawan dapat dilakukan dengan metode :

1. Cawan sebar (*spread plate method*)
2. Cawan tuang (*pour plate method*)

Penerapan metode cawan tuang, terlebih dahulu dilakukan :

1. Satu seri pengenceran terhadap sampel
2. Ambil pengenceran tertentu

Metode tidak langsung melalui kekeruhan/turbiditas dengan melihat massa sel. Metode ini menggunakan alat : spektrofotometer. Dengan alat ini dapat ditentukan nilai absorbansi (a) atau kerapatan optik ($od = \text{optikal density}$). Sebelumnya perlu dibuat kurva baku untuk mengetahui jumlah sel. Kelebihan: cepat, mudah, tidak merusak sample. Kekurangan : sel hidup dan sel mati tidak terukur.

Metode tidak langsung melalui berat kering sel, dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Menyaring/sentrifugasi massa sel
2. Mencuci dengan aquadest/buffer
3. Dikeringkan dalam oven, bila suhu 80°C memerlukan waktu 24 jam atau 110°C selama 8 jam
4. Kemudian ditimbang sehingga diperoleh berat kering sel

8.9 Faktor-Faktor Lingkungan Pertumbuhan Mikroorganisme

Setiap mikroorganisme mempunyai respons yang berbeda terhadap faktor lingkungan (suhu, pH, O, salinitas, dsb.)

Suhu, tinggi rendahnya suhu mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Bakteri dapat tumbuh dalam rentang suhu minus 5°C sampai 80°C , tetapi bagaimanapun juga setiap species mempunyai rentang suhu yang pendek yang ditentukan oleh sensitifitas sistem enzimnya terhadap panas. Bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan pada kisaran suhu pertumbuhannya, yaitu :

1. **Psikrofil** adalah bakteri yang dapat tumbuh pada suhu 0°C sampai 20°C . Suhu optimumnya sekitar 15°C . Karakteristik istimewa dari semua bakteri psikrofil adalah akan tumbuh pada suhu $0 - 5^{\circ}\text{C}$.

2. **Mesofil** adalah bakteri yang dapat tumbuh pada suhu 20⁰ C sampai 45⁰ C. karakteristik istimewa dari semua bakteri mesofil adalah kemampuannya untuk tumbuh pada suhu tubuh (37 0C) dan tidak dapat tumbuh pada suhu di atas 45⁰ C. Bakteri mesofil dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:
 - a. Yang mempunyai suhu pertumbuhan optimum 20 – 300C, termasuk tumbuhan saprofit.
 - b. Yang mempunyai suhu pertumbuhan optimum 35 – 400C, termasuk organisme yang tumbuh baik pada tubuh inang berdarah panas.
3. **Termofil** adalah bakteri yang dapat tumbuh pada suhu 35 0C atau lebih. Bakteri termofil dapat dibedakan menjadi dua kelompok :
 - a. Fakultatif termofil adalah organisme yang dapat tumbuh pada suhu 37⁰C, dengan suhu pertumbuhan optimum 45 – 60 0C.
 - b. Obligat termofil adalah organisme yang dapat tumbuh pada suhu di atas suhu 50⁰ C, dengan suhu pertumbuhan optimum di atas 60 0C.

Perubahan suhu dapat mempengaruhi :

1. Pertumbuhan : miskin, banyak, atau mati
2. Perubahan karakteristik : pembentukan pigmen, misalnya *Serratia marcescens*, pada suhu kamar merah, suhu lebih tinggi atau rendah dari suhu kamar, pigmen merah hilang. Produksi selulosa *Acetobacter xylinum* pada suhu lebih tinggi dari suhu kamar akan menurun.

Derajat keasaman (pH), pengaruh pH terhadap pertumbuhan tidak kalah pentingnya dari pengaruh temperatur. Ada pH minimum, pH optimum, dan pH maksimum. Rentang pH bagi pertumbuhan bakteri antara 4 – 9 dengan pH optimum 6,5 – 7,5. Jamur lebih menyukai pH asam, rentang pH pertumbuhan jamur dari 1 – 9 dan pH optimumnya 4 – 6. Selama pertumbuhan pH dapat berubah, naik atau turun, bergantung kepada komposisi medium yang diuraikan. Bila ingin pH konstan selama pertumbuhan harus diberikan larutan penyangga atau buffer yang sesuai dengan media dan jenis mikroorganisme.

Kebutuhan oksigen, oksigen tidak mutlak diperlukan mikroorganisme karena ada juga kelompok yang tidak memerlukan oksigen bahkan oksigen merupakan racun bagi pertumbuhan. Mikroorganisme terbagi atas empat kelompok berdasarkan kebutuhan akan organisme, yaitu mikroorganisme **aerob** yang memerlukan oksigen sebagai akseptor elektron dalam proses respirasi. Mikroorganisme **anaerob** adalah mikroorganisme yang tidak memerlukan O₂ karena oksigen akan membentuk H₂O₂ yang bersifat toksik dan menyebabkan kematian. Mikroorganisme anaerob tidak memiliki enzim katalase yang dapat menguraikan H₂O₂ menjadi air dan oksigen. Mikroorganisme **fakultatif anaerob** adalah mikroorganisme yang tetap tumbuh dalam lingkungan kelompok fakultatif anaerob. Mikroorganisme **mikroaerofilik** adalah mikroorganisme yang memerlukan oksigen dalam jumlah terbatas karena jumlah oksigen yang berlebih akan menghambat kerja enzim oksidatif dan menimbulkan kematian.

Salinitas, berdasarkan kebutuhan garam (NaCl) mikroorganisme dapat dikelompokkan menjadi :

1. Non halofil
2. Halotoleran
3. Halofil (NaCl 10-15%)
4. Halofil ekstrim

Secara fisik, menggunakan uap air panas dan tekanan tinggi, diperoleh panas, lembab, efektif dengan menggunakan autoklaf. Sterilisasi dengan otoklaf memerlukan suhu 121°C, tekanan 15 psi/1,5 kg/cm², selama 15 menit. Sterilisasi fisik dapat juga dengan panas kering menggunakan oven 160°C, 2 jam. Sterilisasi dengan oven untuk alat-alat gelas dan bahan yang tidak tembus air

Secara kimia, menggunakan senyawa kimia untuk mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, contoh:

HgCl (0,1%), menyebabkan koagulasi protein

NaOCl

$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{HOCl}$ (asam hipoklorit, menyebabkan klorinasi protein sel)

$\text{HOCl} \rightarrow \text{HCl} + \text{O} \cdot$ (daya oksidasi kuat)

Senyawa kimia yang dapat mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, dapat dibedakan menjadi antiseptik, desinfektan, dan bahan kemoterapeutik/antibiotik.

Antiseptik : substansi kimia yang digunakan pada jaringan hidup yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. **Desinfektan**: substansi kimia yang dapat menghambat pertumbuhan sel vegetatif pada materi yang tidak hidup. **Bahan kemoterapeutik**: substansi kimia yang dapat merusak/menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam jaringan hidup, dihasilkan oleh mikroorganisme.

Secara mekanik, untuk bahan yang mudah rusak karena pemanasan, misalnya vitamin, enzim, serum, antibiotik. Contoh : filtrasi, menggunakan filter berupa membran dengan tebal tertentu, terbuat dari asbes, diatom, porselen, kaca berpori, selulosa. membran selulosa: diameter pori 0,01-10 µm.

Bahan/zat yang tidak dapat dipanaskan pada suhu lebih dari 100°C, dapat dilakukan **pasteurisasi dan tindalisasi**. Pasteurisasi memerlukan pemanasan 63-73°C, digunakan untuk pengawetan air, susu, bir, anggur. Pasteurisasi dapat membunuh mikroorganisme patogen (*Mycobacterium*, *Salmonella*, *Coxiella*) dan beberapa mikroorganisme normal. Pelaksanaan pasteurisasi dapat dilakukan dengan cara :

LTH = *low temperatur holding*, menggunakan suhu 63°C, selama 30 menit

HTST= *high temperatur short time*, menggunakan suhu 72°C, selama 15 detik

Tindalisasi adalah pemanasan dengan suhu 80-100°C, selama 30 menit, 3 hari berturut-turut. Pelaksanaan tindalisasi melalui tahapan sebagai berikut :

1. Tindalisasi 1: sel vegetatif mati, kemudian diinkubasi, spora berkecambah menjadi sel vegetatif.
2. Tindalisasi 2: sel vegetatif mati, spora yang tersisa berkecambah menjadi sel vegetatif.
3. Tindalisasi 3: semua sel mati.

8.10. Syarat Ideal Memilih Senyawa Antimikroba Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kerja Antimikroba

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memilih bahan kimia sebagai senyawa antimikroba adalah sebagai berikut :

1. Memiliki kemampuan untuk mematikan mikroorganisme dalam konsentrasi rendah pada spectrum luas, sehingga dapat membunuh berbagai mikroorganisme.
2. Bisa larut dalam air atau pelarut lain sampai taraf yang diperlukan secara efektif.
3. Memiliki stabilitas tinggi, jika dibiarkan dalam waktu relatif lama tidak kehilangan sifat antimikrobanya.
4. Bersifat letal bagi mikroorganisme, tetapi aman bagi manusia maupun hewan.
5. Bersifat homogen, sehingga komposisi selalu sama untuk setiap aplikasi dosis takaran.
6. Senyawa tersedia dalam jumlah besar dengan harga yang pantas.
7. Sifat bahan harus serasi.
8. Dapat menentukan tipe mikroorganisme yang akan dibasmi.
9. Aman terhadap lingkungan

Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja antimikroba adalah sebagai berikut:

1. Konsentrasi bahan, setiap mikroorganisme memerlukan konsentrasi yang berbeda untuk senyawa antimikroba yang sama dalam menghambat atau membunuh.
2. Waktu, setiap mikroorganisme memerlukan waktu yang berbeda-beda ketika dipaparkan terhadap suatu senyawa antimikroba untuk dapat menghambat atau mematikan.
3. pH. Konsentrasi ion hydrogen mempengaruhi peranan bakterisida dengan cara mempengaruhi organisme dan bahan kimia dalam bakterisida tersebut.
4. Temperatur. Pembunuhan bakteri oleh bahan kimia akan meningkat dengan suatu peningkatan temperature.
5. Sifat organisme. Kemampuan suatu bahan tertentu bergantung pada komponen organisme yang diuji dengan bahan tersebut.
6. Usia mikroorganisme. Tingkat kerentanan mikroorganisme sangat ditentukan oleh umur biakan mikroorganisme.
7. Bahan ekstra. Adanya bahan organik seperti serum, darah atau nanah mempengaruhi aktivitas beberapa senyawa antimikroba.²⁴

²⁴ Pratiwi, T. Silvia . 2008. Mikrobiologi Farmasi. Yogyakarta. Erlangga.

BAB IX

PENGENDALIAN MIKROORGANISME

9.1 Pengertian Pengendalian Mikroba

Pengendalian mikroba merupakan upaya pemanfaatan mikroba dalam mengoptimalkan keuntungan peran mikroba dan memperkecil kerugiannya. Mikroba selain memberikan keuntungan juga dapat member kerugian pada manusia berupa penyakit atau racun. Pengendalian mikroba bertujuan mencegah penyebaran penyakit dan infeksi, membasmi mikroorganisme pada inang yang terinfeksi dan mencegah pengrusakan serta pembusukan bahan oleh mikroba, menghambat pertumbuhan bakteri dan mencegah kontaminasi bakteri yang tidak dikehendaki kehadirannya dalam suatu media.²⁵

9.2 Metoda pengendalian Mikroba

Cara pengendalian pertumbuhan mikroba secara umum terdapat dua prinsip, yaitu: 1) dengan membunuh mikroba, 2) menghambat pertumbuhan mikroba. Pengendalian mikroba, khususnya bakteri dapat dilakukan baik secara kimia maupun fisik, yang keduanya bertujuan menghambat atau membunuh mikroba yang tidak dikehendaki.

Cara pengendalian mikroba :

1. Cleaning (kebersihan) dan Sanitasi

Cleaning dan Sanitasi sangat penting di dalam mengurangi jumlah populasi bakteri pada suatu ruang/tempat. Prinsip cleaning dan sanitasi adalah menciptakan lingkungan yang tidak dapat menyediakan sumber nutrisi bagi pertumbuhan mikroba sekaligus membunuh sebagian besar populasi mikroba.

2. Desinfeksi

Desinfeksi adalah proses pengaplikasian bahan kimia (desinfektans) terhadap peralatan, lantai, dinding atau lainnya untuk membunuh sel vegetatif mikrobial. Desinfeksi diaplikasikan pada benda dan hanya berguna untuk membunuh sel vegetatif saja, tidak mampu membunuh spora.

3. Aniseptis

Antiseptis merupakan aplikasi senyawa kimia yang bersifat antiseptis terhadap tubuh untuk melawan infeksi atau mencegah pertumbuhan mikroorganisme dengan cara menghancurkan atau menghambat aktivitas mikroba.

4. Sterilisasi

Proses menghancurkan semua jenis kehidupan sehingga menjadi steril. Sterilisasi seringkali dilakukan dengan pengaplikasian udara panas.

9.2.1 Pengendalian Mikroba Secara Kimia

Banyak zat-zat kimia yang dewasa ini digunakan untuk membunuh atau mengurangi jumlah mikroba, terutama yang patogen. Pengendalian secara kimia umumnya lebih efektif digunakan pada sel vegetatif bakteri, virus dan fungi,

²⁵ Waluyo, L. *Mikrobiologi Umum*. UMM Press, 2004

tetapi kurang efektif untuk menghancurkan bakteri dalam bentuk endospora. Oleh karena tidak ada bahan kimia yang ideal atau dapat digunakan untuk segala macam keperluan, maka diperlukan beberapa hal dalam memilih dan menggunakan senyawa kimia untuk tujuan tertentu, yaitu :

- a) Aktivitas antimikroba, yaitu memiliki kemampuan untuk mematikan mikroorganisme, dalam konsentrasi yang rendah pada spektrum yang luas, artinya dapat membunuh berbagai macam mikroorganisme.
- b) Kelarutan, artinya senyawa ini bisa larut dalam air atau pelarut lain, sampai pada taraf yang diperlukan secara efektif.
- c) Stabilitas, artinya memiliki stabilitas yang tinggi bila dibiarkan dalam waktu yang relatif lama dan tidak boleh kehilangan sifat antimikrobanya.
- d) Tidak bersifat toksik bagi manusia maupun hewan lain, artinya senyawa ini bersifat letal bagi mikroba dan tidak berbahaya bagi manusia maupun hewan lain.
- e) Tidak bersifat toksik bagi manusia maupun hewan lain, artinya senyawa ini bersifat letal bagi mikroba dan tidak berbahaya bagi manusia maupun hewan lain.
- f) Tidak bersifat toksik bagi manusia maupun hewan lain, artinya senyawa ini bersifat letal bagi mikroba dan tidak berbahaya bagi manusia maupun hewan lain.
- g) Sifat bahan harus serasi, yaitu zat kimia yang digunakan untuk disinfeksi alat-alat yang terkontaminasi tidak baik digunakan untuk kulit karena dapat merusak sel kulit.
- h) Tipe mikroorganisme, artinya tidak semua mikroorganisme rentan terhadap mikrobiostatik atau mikrobiosida, oleh karena itu harus dipilih tipe mikroorganisme yang akan dibasmi.

Pada prinsipnya, cara kerja agen kimia ini digolongkan menjadi:

1. Agen kimia yang merusak membran sel mikroba : Golongan Surfaktans (Surface Active Agents), yaitu golongan anionik, kationik dan nonionik.
2. Agen kimia yang merusak enzim mikroba, yaitu:
 - a. Golongan logam berat seperti arsen, perak, merkuri, dll.
 - b. Golongan oksidator seperti golongan halogen, peroksida hidrogen dan formaldehid.
3. Agen kimia yang mendenaturasi protein, yaitu agen kimiawi yang menyebabkan terjadinya koagulasi dan presipitasi protoplasma, seperti alkohol, gliserol dan bahan-bahan asam dan alkalis.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas agen kimia di dalam mengendalikan mikroba, yaitu :

1. Konsentrasi agen kimia yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasinya maka efektivitasnya semakin meningkat.
2. Waktu kontak. Semakin lama bahan tersebut kontak dengan bahan yang disterilkan maka hasilnya akan semakin baik.
3. Sifat dan jenis mikroba. Mikroba yang berkapsul dan berspora lebih resisten dibandingkan yang tidak berkapsul dan tidak berspora.
4. Adanya bahan organik dan ekstra. Adanya bahan-bahan organik dapat menurunkan efektivitas agen kimia.

5. pH atau derajat keasaman. Efektivitas bahan kimia dapat berubah seiring dengan perubahan pH. Hanya ada beberapa zat bahan kimia secara hukum diterima untuk digunakan dalam pengawetan makanan. Diantaranya yang paling efektif adalah asam benzoat, sorbat, asetat, laktat dan propionat, kesemuanya ini adalah asam organik. Asam sorbet dan propionat digunakan untuk menghambat pertumbuhan kapang pada roti. Nitrat dan nitrit digunakan untuk mengawetkan daging terutama untuk mengawetkan warna dan bersifat menghambat pertumbuhan beberapa bakteri anaerobic, terutama *Clostridium botulinum*.

9.2.2 Pengendalian Mikroba Secara Fisik

Sebagian besar bakteri patogen memiliki keterbatasan toleransi terhadap berbagai kekuatan lingkungan fisiknya dan memiliki sedikit kemampuan untuk bertahan hidup di luar tubuh inang. Bakteri lain dapat membentuk spora yang sangat resisten terhadap keadaan fisik lingkungan dan membantu mikroba melalui peningkatan nilai pertahanan hidup. Pada prinsipnya mikroorganisme dapat dikendalikan, yaitu dengan cara dibasmi, dihambat pertumbuhannya dalam lingkungan, dengan menggunakan berbagai proses atau sarana fisik. Proses atau sarana yang digunakan bergantung pada banyak faktor dan hanya dapat ditentukan setelah diadakan evaluasi terhadap keadaan khusus tersebut. Misalnya, untuk membasmi mikroorganisme penyebab infeksi pada hewan sakit yang mati, cara yang memungkinkan adalah membakar hewan tersebut. Tetapi, bila kita perlu mensterilkan kantung plastik yang akan digunakan untuk menampung darah, maka kita harus memilih suatu proses sterilisasi yang tidak akan merusak kantung plastik tersebut.

Pengendalian Mikroba dengan Suhu Panas lainnya :

- a) Tyndalisasi : Pemanasan yang dilakukan biasanya pada makanan dan minuman kaleng. Tyndalisasi dapat membunuh sel vegetatif sekaligus spora mikroba tanpa merusak zat-zat yang terkandung di dalam makanan dan minuman yang diproses. Suhu pemanasan adalah 65°C selama 30 menit dalam waktu tiga hari berturut-turut.
- b) Pasteurisasi : Proses pembunuhan mikroba patogen dengan suhu terkontrol berdasarkan waktu kematian termal bagi tipe patogen yang paling resisten untuk dibasmi. Dalam proses pasteurisasi yang terbunuh hanyalah bakteri patogen dan bakteri penyebab kebusukan namun tidak pada bakteri lainnya. Pasteurisasi biasanya dilakukan untuk susu, rum, anggur dan makanan asam lainnya. Suhu pemanasan adalah 65°C selama 30 menit.
- c) Boiling : Pemanasan dengan cara merebus bahan yang akan disterilkan pada suhu 100°C selama 10-15 menit. Boiling dapat membunuh sel vegetatif bakteri yang patogen maupun non patogen. Namun spora dan beberapa virus masih dapat hidup. Biasanya dilakukan pada alat-alat kedokteran gigi, alat suntik, pipet, dll.
- d) Red heating : Pemanasan langsung di atas api bunsen burner (pembakar spiritus) sampai berpijar merah. Biasanya digunakan untuk mensterilkan alat yang sederhana seperti jarum ose.
- e) Flaming : Pembakaran langsung alat-alat laboratorium di atas pembakar bunsen dengan alkohol atau spiritus tanpa terjadinya pemijaran

Pengendalian Mikroba dengan Radiasi, Bakteri terutama bentuk sel vegetatifnya dapat terbunuh dengan penyinaran sinar ultraviolet (UV) dan sinar-sinar ionisasi.

1. Sinar UV : Bakteri yang berada di udara atau yang berada di lapisan permukaan suatu benda yang terpapar sinar UV akan mati.
2. Sinar Ionisasi : yang termasuk sinar ionisasi adalah sinar X, sinar alfa, sinar beta dan sinar gamma. Sterilisasi dengan sinar ionisasi memerlukan biaya yang besar dan biasanya hanya digunakan pada industri farmasi maupun industri kedokteran.
 - Sinar X : Daya penetrasi baik namun perlu energi besar.
 - Sinar alfa : Memiliki sifat bakterisidal tetapi tidak memiliki daya penetrasi.
 - Sinar beta : Daya penetrasinya sedikit lebih besar daripada sinar X.
 - Sinar gamma : Kekuatan radiasinya besar dan efektif untuk sterilisasi bahan makanan

Pengendalian Mikroba dengan Filtrasi : Ada dua filter, yaitu filter udara dan filter bakteriologis.

- 1) Filter udara berefisiensi tinggi untuk menyaring udara berisikan partikel (High Efficiency Particulate Air Filter atau HEPA) memungkinkan dialirkannya udara bersih ke dalam ruang tertutup dengan sistem aliran udara laminar (Laminar Air Flow)
- 2) Filter bakteriologis biasanya digunakan untuk mensterilkan bahan-bahan yg tidak tahan terhadap pemanasan, mis. larutan gula, serum, antibiotika, antitoksin, dll.

Teknik filtrasi prinsipnya menggunakan penyaringan, dimana yang tersaring hanyalah bakteri saja. Diantara jenis filter bakteri yang umum digunakan adalah : Berkefeld (dari fosil diatomae), Chamberland (dari porselen), Seitz (dari asbes) dan seluosa.

Pengendalian Mikroba dengan Bahan Kimia

Agan kimia yang baik adalah yang memiliki kemam-puan membunuh mikroba secara cepat dengan dosis yang rendah tanpa merusak bahan atau alat yang didisinfeksi.

Pada prinsipnya, cara kerja agen kimia ini digolongkan menjadi :

- 1) Agen kimia yang merusak membran sel mikroba.
 - Golongan Surfactants (Surface Active Agents), yaitu golongan anionik, kationik dan nonionik.
 - Golongan fenol.
- 2) Agen kimia yg merusak enzim mikroba
 - Golongan perak, merkuri dl
 - Golongan oksidator spt gol. halogen, hidrogen peroksida dan formaldehid.
- 3) Agen kimia yang mendenaturasi protein.

Agan kimiawi yg menyebabkanterjadinya koagulasi dan presipitasi protoplasma, seperti alkohol, gliserol dan bahan-bahan asam dan alkalis.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi Efektivitas Agen kimia di dalam mengendalikan mikroba, yaitu :

Konsentrasi agen kimia yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasinya maka efektivitasnya semakin meningkat.

- Waktu kontak. Semakin lama bahan tersebut kontak dengan bahan yang disterilkan maka hasilnya akan semakin baik.
- Sifat dan jenis mikroba. Mikroba yang berkapsul dan berspora resisten dibandingkan yang tidak berkapsul dan berspora.
- Adanya bahan organik dan ekstra. Adanya bahan-bahan organik dapat menurunkan efektivitas agen kimia.
- pH atau derajat keasaman. Efektivitas bahan kimia dapat berubah seiring dengan perubahan pH.

BAB X

GENETIKA MIKROORGANISME

10.1 Pendahuluan

Genetika merupakan suatu cabang ilmu yang membahas tentang sifat-sifat yang diturunkan oleh suatu organisme. Penelaahan genetika secara serius pertama kali dilakukan oleh Gregor Mendel seorang Austria terhadap sebidang tanaman kacang polong. Pada tahun 1860 ia menyilangkan tanaman-tanaman kacangnya yang kemudian mengamati perubahan-perubahan warna, bentuk, ukuran dan sifat-sifat lain dari kacang hasil silangannya. Hasil penelitiannya ia mengembangkan hukum-hukum dasar kebakaan yang dikenal dengan hukum Mendel. Perubahan warna, bentuk, dan ukuran biji banyak menghasilkan keterangan mengenai ciri-genen di dalam kromosom. Pengembangan teori Mendel kemudian dilakukan oleh ahli-ahli lain menggunakan organisme percobaan yang populer dalam penelitian genetika, yaitu lalat *Drosophilla*. Pada tahun 1950-an *Drosophilla* diganti dengan bakteri *Escherichia coli* sebagai organisme percobaan, karena *Escherichia coli* ini yang paling dipahami pada taraf molekulernya.

Pada era yang sama, Charles Darwin seorang berkebangsaan Inggris memperkenalkan teorinya mengenai evolusi. Teori evolusi Darwin didasarkan kepada prinsip-prinsip seleksi alamiah dan kelangsungan hidup dari yang terkuat. Oleh karena itu hanya organisme yang dapat beradaptasi secara genetis terhadap lingkungan yang berubah-ubah dalam kurun waktu lama (masa) yang akan bertahan hidup.

Ciri khas bentuk kehidupan dari segi genetika adalah mempunyai “kesamaan” (kemiripan) ciri progeni dan tetuanya. Mari kita amati spesies manusia misalnya, beberapa keluarga mempunyai rambut hitam, mata hitam, bentuk hidung tertentu karena tetuanya demikian adanya, sedangkan beberapa keluarga lain mempunyai rambut pirang, mata biru, dan bentuk hidung yang lebih menonjol sesuai dengan tetua mereka. Dengan cara yang sama, mikroorganisme juga.²⁶

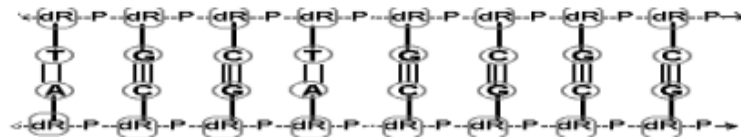
10.2 Sifat Dasar DNA

Kromosom yang kita kenal, sesungguhnya adalah rantai DNA (*deoxyribonucleic acid* = asam dioksiribo nukleat) yang pada organisme tingkat tinggi (tumbuhan dan hewan) diselubungi oleh suatu jenis protein yang disebut histon. DNA merupakan bahan genetik yang menyimpan informasi genetik (sifat menurun ke generasi berikutnya) dan dapat dipindahkan. Avery pada tahun 1941 mampu mengubah bakteri *Pneumococcus* yang tidak beracun menjadi bakteri yang menghasilkan toksin (racun) dengan cara menambah ekstrak DNA bakteri beracun. Hal tersebut membuktikan bahwa DNA bakteri yang beracun tersebut dapat dipindahkan (ditransformasikan) sifat-sifatnya kepada DNA bakteri generasi baru. Dengan demikian disimpulkan bahwa bahan

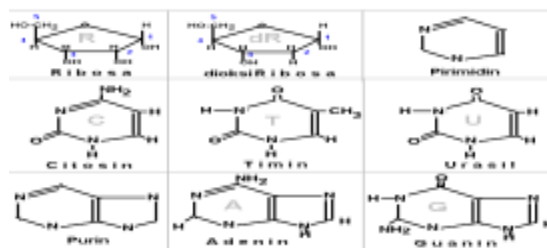
²⁶ Madigan *et al.* 2017. Brock Biologi Mikroorganisme. 14th edition. Penerbit Buku kedokteran EGC

yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan sifat individu bakteri tersebut adalah DNA.

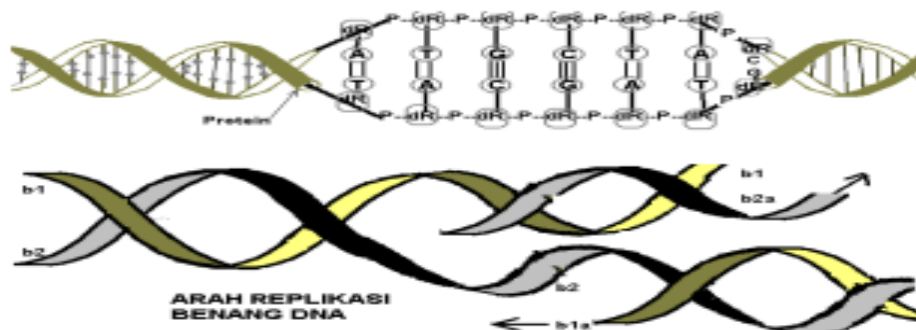
DNA mengandung dua basa yaitu *purin* dan *pirimidin*. Basa purin terdiri dari adenin [A] dan guanin [G], sedangkan basa pirimidin terdiri dari sitosin [C] dan timin [T]. DNA merupakan rangkaian basa-basa purin dan pirimidin yang sangat panjang. Secara skematis dapat digambarkan seperti berikut :



Dioksiribo nukleat (dR) yang berdampingan diikat oleh fosfoester (P) pada atom C 3-5 (anti paralel) dan basa purin maupun pirimidin pada C pertama. DNA di dalam sel mikroorganisme terdapat sebagai benang ganda yang terpilin dalam konfigurasi heliks (lihat gambar). Sintesis DNA yang akan diteruskan ke sel keturunan menyediakan mekanisme untuk pembuatan salinan yang tepat melalui penggunaan basa komplementer. Dalam heliks ganda, setiap adenin pada benang I berpasangan dengan timin sebagai komplementernya pada benang II, sedangkan guanin dengan sitosin. Rumus bangun dari purin, pirimidin, dioksiRibonukleat, adenin, timin, sitosin, dan guanin seperti berikut ini :



Pengaturan urutan dan banyaknya basa-basa nukleotida inilah yang membawa informasi genetik dalam sel. Setiap jenis mikroorganisme mempunyai urutan dan jumlah basa nukleotida yang dapat sangat berbeda, tetapi setiap jenis mikroorganisme akan menurunkan generasinya dengan urutan dan banyaknya basa-basa nukleotida yang sama.

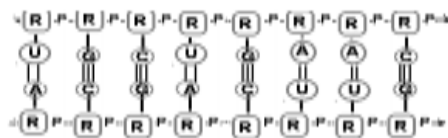


Apabila benang I (b1) direplikasi, maka dihasilkan benang tunggal (b2a) yang identik dengan benang II (b2), dan sebaliknya apabila benang II (b2) direplikasi maka akan dihasilkan benang tunggal (b1a) yang identik benang I (b1). Hasil akhir

merupakan dua benang heliks yang masing-masing mengandung satu benang pencetak asli dan satu benang baru. Arah replikasi DNA hanya pada C5 ke C3 sehingga hanya satu benang yang dapat direplikasi secara utuh dan benang antiparalelnya direplikasi sepotong-sepotong kemudian disambung oleh enzim DNA-ligase.

10.3 Transkripsi DNA dan Translasi RNA

Struktur RNA (*ribonucleic acid*) sebenarnya sama dengan DNA, tetapi RNA mempunyai pirimidin urasil (U) di tempat timin (T) dan mengikat gula ribosa (lihat gambar berikut).



Dalam sel, RNA berfungsi sebagai alat pengendali DNA dalam sintesis polipeptida (protein), dan tidak membentuk heliks, kecuali RNA pada virus RNA ganda.

Tabel kodon dan asam amino yang disandi.

Basa	U	C	A	G
U	UUU fenilalanin UUC fenilalanin UUA leusin UUG leusin	UCU serin UCC serin UCA serin UCG serin	UAU tirosin UAC tirosin UAA * UAG *	UGU sistein UGC sistein UGA * UGG triptofan
C	CUU leusin CUC leusin CUA leusin CUG leusin	CCU prolin CCC prolin CCA prolin CCG prolin	CAU histidin CAC histidin CAA glutamin CAG glutamin	CGU arginin CGC arginin CGA arginin CGG arginin
A	AUU isoleusin AUC isoleusin AUA isoleusin AUG mesonin	ACU treonin ACC treonin ACA treonin ACG treonin	AAU asparagin AAC asparagin AAA lisin AAG lisin	AGU serin AGC serin AGA arginin AGG arginin
G	GUU valin GUC valin GUA valin GUG valin	GCU alanin GCC alanin GCA alanin GCG alanin	GAU aspartat GAC aspartat GAA glutamat GAG glutamat	GGU glisin GGC glisin GGA glisin GGG glisin

Pada sintesis RNA, benang DNA positif digunakan sebagai pencetak bersama polimerase. Jika benang DNA positif mempunyai urutan ATGCTAACG, maka akan menghasilkan RNA dengan urutan UACGAUUGC. Proses pencetakan RNA dari benang DNA positif ini disebut *transkripsi* yaitu proses penyalinan pesan DNA kepada benang RNA melalui basa komplementer nukleotida RNA dengan DNA pencetak. Benang baru RNA ini membawa pesan dari DNA untuk pembuatan protein sehingga disebut RNA pesuruh (m-RNA). Proses sintesis protein yang diarahkan oleh m-RNA disebut *translasi*, yaitu proses pengarahannya sintesis protein dari pesan yang dibawa oleh m-RNA. Pesan atau informasi yang dibawa oleh m-RNA diterjemahkan dalam urutan asam amino.

BAB XI

MIKROORGANISME LINGKUNGAN DAN TERAPAN

11.1 Pendahuluan

Lingkungan, sesuatu yang ada di sekeliling kita dimana semua makhluk hidup berada dari makhluk terkecil (mikroorganisme) sampai makhluk yang sempurna (manusia). Lingkungan yang terdiri dari udara, air dan tanah dimana dari ketiga komponen tersebut kita sangat membutuhkannya dalam kehidupan sehari-hari.

Peranan mikroorganisme dalam pengelolaan pencemaran lingkungan dapat terjadi dalam dua hal :

a) Mikroorganisme yang telah direkayasa dapat digunakan untuk menggantikan suatu proses produk sehingga hanya menghasilkan polutan sedikit mungkin.

b) Mikroorganisme yang telah direkayasa dapat digunakan sebagai organisme pembersih.

11.2 Mikrobiologi Air

Air merupakan materi penting dalam kehidupan. Semua makhluk hidup membutuhkan air. Misalnya sel hidup, baik hewan maupun tumbuhan, sebagian besar tersusun oleh air, yaitu lebih dari 75% isi sel tumbuhan atau lebih dari 67% isi sel hewan. Dari sejumlah 40 juta milikubik air yang berada di permukaan dan di dalam tanah, ternyata tidak lebih dari 0,5% (0,2 juta mil-kubik) yang secara langsung dapat digunakan untuk kepentingan manusia. Karena dari jumlah 40 juta mil-kubik, 97% terdiri dari air laut dan jenis air lain yang berkadar-garam tinggi, 2,5% berbentuk salju dan es-abadi yang dalam keadaan mencair baru dapat dipergunakan secara langsung oleh manusia.²⁷

Kebutuhan air untuk keperluan sehari-hari, berbeda untuk setiap tempat dan setiap tingkatan kehidupan. Biasanya semakin tinggi taraf kehidupan, semakin meningkat pula jumlah kebutuhan air. Di Indonesia, berdasarkan catatan dari Departemen Kesehatan, rata-rata keperluan air adalah 60 liter per kapita, meliputi (Tabel 11.1) :

Tabel 11.1 Kebutuhan Air per Kapita

<i>Air untuk keperluan</i>	<i>Jumlah (liter)</i>
Mandi	30
Mencuci	15
Masak	5
Minum	5
Lain-lain	5

²⁷ Waluyo and Lud, 2009, Mikrobiologi Lingkungan, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang Press.

Keperluan air per kapita di negara-negara maju, jauh lebih tinggi dari keperluan di

Indonesia, misalnya untuk Amerika Serikat (Chicago: 800 L, Los Angeles: 640 L), Perancis (Paris: 480 L), Jepang (Tokyo: 530 L), dan Swedia (Uppsala: 750 L). Sejalan dengan kemajuan dan peningkatan taraf kehidupan, tidak dapat dihindari adanya

peningkatan jumlah kebutuhan air, khususnya untuk keperluan rumah tangga, sehingga berbagai cara dan usaha telah banyak dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air, antara lain dengan :

- Mencari sumber-sumber air baru (air-tanah, air danau, air sungai, dan sebagainya);
 - Mengolah dan mentawarkan air laut;
 - Mengolah dan memurnikan kembali air kotor yang berada di sungai, danau, dan sumber lain yang umumnya telah tercemar baik secara fisik, kimia maupun mikrobiologis.
- Pada pokok bahasan ini yang akan dibahas tentang hanya mikrobiologi air tawar

11.2.1 Mikrobiologi Air Tawar

Zonasi ekosistem air tawar dan organisme yang hidup di dalamnya dapat dilihat pada gambar. Air alami yang berada di sungai, kolam, danau, dan sumber air lainnya, dengan rumus : $H_2O + X$, dimana X merupakan faktor yang bersifat hidup (biotik) maupun tidak hidup (abiotik)

Komponen kehidupan di dalam air, terdiri dari

1. Mikroba : bakteri, jamur, mikroalga, protozoa, virus
2. Hewan dan tumbuhan air

Mikroba dalam air ada yang menguntungkan dan ada yang merugikan.

Mikroba air yang menguntungkan, berperan sebagai :

- Makanan ikan : fitoplankton dan zooplankton. Contoh : mikroalga (*Chlorella*, *Scenedesmus*, *Hydrodictyon*, *Pinnularia*, dan lain-lain)
- Dekomposer : pengolahan limbah secara biologis
- Produsen : adanya mikroalga yang dapat berfotosintesis sehingga meningkatkan oksigen terlarut
- Konsumen : hasil rombakan organisme dimanfaatkan oleh mikroalga, bakteri, jamur
- Penyebab penyakit : *Salmonella* (tipus / paratipus), *Shigella* (disentri basiler), *Vibrio* (kolera), *Entamoeba* (disentri amoeba)
- Penghasil toksin : bakteri anaerobik (*Clostridium*), bakteri aerobik (*Pseudomonas*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, dan lain-lain), mikroalgae (*Anabaena*, *Microcystis*)sp

Mikroba air yang merugikan dapat menyebabkan :

- Blooming menyebabkan perairan berwarna, ada endapan, dan bau amis, disebabkan oleh meningkatnya pertumbuhan mikroalga (*Anabaena flos-aquae* dan *Microcystis aeruginosa*)
- Bakteri besi : Fe^{2+} (oksidasi oleh bakteri *Crenothrixsphaerotilus*) menjadi Fe^{3+}

- Bakteri belerang : SO₄²⁻ (reduksi oleh bakteri *Thiobacillus cromatium*) menghasilkan H₂S (bau busuk).

Kualitas air harus memenuhi 3 persyaratan, yaitu kualitas fisik, kimia, dan biologis. Kualitas fisik berdasarkan pada kekeruhan, temperatur, warna, bau, dan rasa. Kualitas kimia adanya senyawa-senyawa kimia yang beracun, perubahan rupa, warna, dan rasa air, serta reaksi-reaksi yang tidak diharapkan menyebabkan diadakannya standar kualitas air minum. Standar kualitas air memberikan batas konsentrasi maksimum yang dianjurkan dan yang diperkenankan bagi berbagai parameter kimia, karena pada konsentrasi yang berlebihan kehadiran unsur-unsur tersebut dalam air akan memberikan pengaruh negatif, baik bagi kesehatan maupun dari segi pemakaian lainnya. Kualitas biologis didasarkan pada kehadiran kelompok-kelompok mikroba tertentu seperti mikroba patogen (penyakit perut), pencemar (terutama Coli), penghasil toksin dsb.

Indikator kehadiran bakteri coliform merupakan polusi kotoran akibat kondisi sanitasi yang buruk terhadap air dan makanan. Bakteri coliform ada 2 jenis :

1. Fekal : berasal dari tinja manusia dan mamalia (misal : *Escherichia coli*)
2. Nonfekal : berasal dari sumber lain (misal : *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella*)

Untuk melihat kualitas air dengan indicator coliform, maka perlu dilakukan uji kualitatif dan kuantitatif bakteri coliform.melalui 3 tahapan yaitu uji Penduga (presumptive test), uji Penetap (Confirmed Test), uji Pelengkap (Completed test). Penghitungan bakteri coliform juga dapat menggunakan metode Millipore Membrane Filter menggunakan filter membran steril pori yang berdiameter 0,22 – 0,45 µm dengan diameter membran : 5 cm.

Penentuan coliform fekal atau non fekal dapat dilakukan dengan menumbuhkan isolate pada medium uji IMVIC (Tabel 3 & 4) atau suhu inkubasi optimum yang berbeda 42°C untuk Coliform fekal dan 37°C untuk Coliform nonfekal.

Tabel 11.2 Uji IMVIC

No.	Uji	Medium	Produk Akhir	Reaksi Positif
1.	Indol	Tryptone Broth / Indol-nitrite	Indol	Merah setelah penambahan pereaksi KOVACS
2.	Methyl Red	Proteose Broth / 1% Glucose Peptone Broth	Asam Organik	Merah setelah penambahan indikator Methyl Red
3.	Voges-Proskauer	Proteose Broth / 1 % Glucose Peptone Broth	Asetil Metil Karbinol	Merah tua setelah penambahan 5 % α-naftol & 40 % KOH
4.	Sitrat	Koser Sitrat Medium	Pertumbuhan	Timbul kekeruhan

Tabel 11.3 Kualitas Air Berdasarkan Jumlah Coliform

Kualitas Air	Bakteri Coliform / 100 ml Air
Sangat Memuaskan	Tidak Ada
Memuaskan	1 – 2
Diragukan	3 – 10
Jelek	> 10

Kualitas perairan juga dapat ditentukan berdasarkan nilai IPB. Penentuan Nilai IPB (Indeks Pencemar Biologis) atau Biological Indices of Pollution (BIP) suatu perairan, pada umumnya dilakukan kalau air dari suatu sumber perairan akan digunakan sebagai bahan baku untuk kepentingan pabrik/industri (sebagai air proses, air pendingin), untuk kepentingan rekreasi (berenang). Makin tinggi nilai

IPB maka makin tinggi kemungkinan deteriosasi/korosi materi di dalam sistem pabrik (logam-logam yang mengandung Fe dan S), atau pun terhadap kemungkinan adanya kontaminasi badan air oleh organisme patogen. Nilai IPB ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai IPB} = (B/(A+B)) \times 100$$

A : Kandungan mikroba berklorofil

B : Kandungan mikroba tanpa klorofil

Hasil tersebut akan memberikan besaran yang menyatakan nilai IPB. Perhitungan nilai dilakukan secara langsung (tanpa pembiakan) yaitu : Sampel air sebanyak 500-1000 ml, selanjutnya dipekatkan sampai menjadi 50 ml baik melalui penyaringan ataupun sentrifugasi (rata-rata 1500 rpm). Endapan yang terbentuk selanjutnya dianalisis untuk kehadiran mikroorganisme dengan menggunakan kolum hitung untuk mikroalge, dan pewarnaan untuk bakteri dan fungi. Kandungan kedua kelompok mikroorganisme tersebut dapat dijadikan dasar untuk perhitungan nilai IPB (Tabel 11.4).

Tabel 11.4 Nilai Indeks Pencemar Biologis

Nilai IPB	Kualitas Air
0 - 8	Bersih, Jernih
9 - 20	Tercemar ringan
21 - 60	Tercemar sedang
60 - 100	Tercemar berat

Pengolahan Limbah Sekunder/Secara Biologik

Pengolahan sekunder melibatkan oksidasi senyawa organik berbentuk koloid dan terlarut dengan adanya mikroorganisme dan organisme dekomposer lain. Keadaan berangin biasanya dibutuhkan oleh '*trickling filters*' atau '*activated sludge tanks*' (lumpur aktif), sedangkan dalam iklim yang hangat dapat digunakan '*oxidation ponds*' (kolam oksidasi). Lumpur sekunder yang dihasilkan dari pengolahan secara biologik dicampurkan dengan lumpur primer dalam tangki '*sludge digestion*', dimana terjadi penguraian secara anaerobik oleh mikroorganisme.²⁸

Trickling (percolating) filters.

Trickling filters merupakan tangki berbentuk lingkaran atau empatpersegi panjang, setinggi 1-3 m dan diisi dengan susunan alas (*filter bed*) mineral atau plastik. Mineral dapat berupa pecahan batu, genting, arang, dan 'slag' (terak, ampas bijih), tetapi harus berukuran serupa, jadi akan menempati bagian yang sama. Rentang ukuran biasanya antara 3,5-5,0 cm, dengan bagian permukaan khusus bervolume 80-110 m²/m³ dan ukuran jarak 45-55 % dari volume keseluruhan. Dilengkapi dengan batang pemutar (bagian tengah) atau pipa yang dapat digerakan maju-mundur, pada tangki persegi. Bagian atas terdapat lubang untuk masukan limbah, dan bagian bawah arah berhadapan disediakan kran untuk mengeluarkan efluen/cairan. Bakteri yang terdapat dalam jumlah paling besar dan bentuk dasar dari jaring makanan. Tercatat banyak bakteri yang terlibat, tetapi yang dominan adalah batang gram-negatif aerobik *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, dan *Flavobacterium*.

²⁸ Waluyo and Lud, 2009, Mikrobiologi Lingkungan, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang Press.

Fungi secara normal berjumlah 8:1 dengan bakteri, dan terdapat pada bagian atas filter dan jumlahnya berlimpah sekitar kedalaman 15 cm. Genera yang sering mendominasi adalah *Sepedonium*, *Subbaromyces*, *Ascoidea*, *Fusarium*, *Geotrichium*, dan *Trichosporon*. Bakteri dan fungi heterotrofik tersebut melaksanakan oksidasi primer efluen. Bakteri autotrofik cenderung lebih banyak pada lapisan bawah filter, *Nitrosomonas* mengoksidasi amonium menjadi nitrit, dan *Nitrobacter* mengoksidasi nitrit menjadi nitrat.

Alge sering ditemukan dalam *percolating filter* (misalnya, *Chlorella*, *Oscillatoria*, *Ulothrix*), tetapi peranannya kecil dalam proses pemurnian.

Protozoa terdapat sebanyak fungi dan dapat diidentifikasi sekitar 218 spesies, 116 diantaranya ciliata (ciliata yang banyak ditemukan : *Carchesium*, *Chilodonella*, dan *Colpoda*). Peran utama protozoa adalah untuk membuang bakteri, sehingga efluen dapat dibersihkan.

Proses Activated sludge

Dalam tangki *activated sludge* (lumpur aktif), limbah endapan dicampurkan dengan suspensi mikroorganisme dan diberi udara selama 1-30 jam, bergantung pada tujuan pengolahan. Medium diperkaya dengan larutan dan suspensi nutrisi, ditambah oksigen dan diaduk dengan cepat. Bahan yang tersuspensi dan koloid mengadsorpsi gumpalan mikroba. Selanjutnya mikroba memecahkan gumpalan dan melarutkan nutrisi, proses ini dikenal sebagai stabilisasi. Lumpur, yang meningkat sebanyak 5-10% selama proses, dipindah dari cairan dalam tangki pengendapan, dan dikembalikan lagi ke tangki aerasi.

Lumpur aktif digambarkan sebagai lingkungan akuatik yang sebenarnya. Kondisi turbulen dalam tangki tidak layak untuk makroinvertebrata, sehingga komunitas tanpa mata-rantai yang lebih besar dalam jaring makanan. Sejumlah massa mikroba dalam sistem ini dikendalikan oleh pengambilan kelebihan lumpur, sedangkan lapisan berlebihan pada filter dibuang dengan perantara proses biologik. Dalam tangki lumpur aktif, komunitas mikroba awalnya dihubungkan dengan limbah yang tidak diolah, selanjutnya, memurnikan efluen, sedangkan pada *filter bed* suatu suksesi komunitas timbul pada kedalaman yang berbeda dan dihubungkan dengan perbedaan derajat pemurnian efluen.

Oxidation ponds

Oxidation ponds atau kolam oksidasi (stabilisasi) digunakan dalam iklim hangat untuk memurnikan limbah dan prosesnya melibatkan interaksi antara bakteri dan alge. (Gambar 10-16.) Kolam merupakan danau di pinggir laut yang dangkal, dengan kedalaman 1m. Endapan lumpur dialirkan melalui kolam selama 2-3 minggu, tetapi lumpur kasar dapat disimpan lebih dari 6 bulan. Bakteri dalam kolam menghancurkan bahan organik yang biodegradable untuk melepaskan CO₂, amonia, dan nitrat. Produk ini digunakan oleh alge, bersama-sama dengan sinar matahari, dan proses fotosintetik melepaskan oksigen, memungkinkan bakteri menguraikan limbah lebih banyak. Suatu lapisan endapan lumpur organik pada dasar kolam dan dekomposisi anaerobik menyebabkan pelepasan metan.

11.3 Mikrobiologi Industri

Bioteknologi merupakan suatu kajian yang berhubungan dengan penggunaan organisme hidup atau produknya dalam proses industri berskala-besar. Bioteknologi mikroorganisme adalah aspek bioteknologi industri yang

berhubungan dengan proses yang melibatkan mikroorganisme. Bioteknologi mikroorganisme kadang-kadang disebut mikrobiologi industri, suatu bidang yang lama dan sudah diperbaharui pada beberapa tahun terakhir ini karena penambahan teknik rekayasa genetika. Mikrobiologi industri awalnya dimulai dengan proses fermentasi alkohol, seperti pada pembuatan “*beer*” dan “*wine*” (minuman dibuat dari buah anggur). Proses mikrobial dikembangkan untuk produksi bahan farmasi seperti antibiotika, produksi makanan tambahan seperti asam amino, serta produksi enzim, dan produksi industri kimia seperti butanol dan asam sitrat.

Semua proses industri yang digambarkan sudah membuktikan kemampuan suatu mikroorganisme. Tetapi sekarang, dengan hadirnya teknologi gen kita berada dalam era baru bioteknologi mikroorganisme. Teknologi gen memungkinkan suatu pendekatan baru secara lengkap terhadap bioteknologi mikroorganisme yang menggunakan mikroorganisme yang direkayasa untuk menghasilkan suatu substansi atau bahan yang secara normal tidak dapat dihasilkan. Sebagai contoh, proses pembuatan hormon insulin, dikembangkan dengan menyisipkan gen insulin manusia ke dalam suatu bakteri.

Bioteknologi mikroorganisme dapat dipisahkan menjadi dua fase yang berbeda:

1. Teknologi mikroorganisme tradisional, yang melibatkan pembuatan produk berskala besar oleh mikroorganisme yang secara normal juga dapat dihasilkan. Dalam proses bioteknologi ini, ahli mikrobiologi pada awalnya memodifikasi organisme atau proses sehingga produk yang diharapkan dapat diperoleh dalam jumlah yang terbanyak.
2. Teknologi mikroorganisme dengan rekayasa genetika, yang melibatkan penggunaan mikroorganisme yang sudah diberi sisipan gen asing. Dalam bioteknologi baru ini, ahli mikrobiologi industri bekerja secara teliti dengan rekayasa genetika dalam mengembangkan mikroorganisme yang sesuai yang bukan hanya menghasilkan produk yang menarik tetapi juga dapat dibiakkan dalam skala besar yang dibutuhkan secara komersial.

11.3.1. Peranan Mikroba Dalam Industri

Tidak semua mikroorganisme yang ada dapat digunakan dalam industri. Mikroorganisme yang diisolasi dari alam memperlihatkan pertumbuhan sel seperti komponen fisiologi utamanya, sedangkan mikroorganisme industri merupakan organisme yang dipilih secara hati-hati sehingga dapat membuat satu atau banyak produk khusus. Bahkan jika mikroorganisme industri merupakan salah satu yang sudah diisolasi dengan teknik tradisional, mikroorganisme tersebut menjadi organisme yang sangat “termodifikasi” sebelum memasuki industri berskala-besar. Sebagian besar mikroorganisme industri, merupakan spesialis metabolik, yang secara spesifik mampu menghasilkan metabolit tertentu dan dalam jumlah yang sangat banyak.

Untuk mencapai spesialisasi metabolik tinggi tersebut, strain industri dirubah secara genetika melalui mutasi atau rekombinasi. Jalur metabolik minor biasanya ditekan atau dihilangkan. Sering terdapat ketidak-seimbangan metabolik, misalnya kemampuan pertumbuhannya yang rendah, kehilangan kemampuan untuk membentuk spora, dan mengalami perubahan pada komponen biokimia dan selnya. Meskipun strain industri dapat tumbuh dengan sangat memuaskan di bawah kondisi

fermentor industri yang sangat terspesialisasi, strain tersebut dapat memperlihatkan kemampuan pertumbuhan dalam lingkungan yang kompetitif di alam.

11.3.2. Strain Mikroorganisme Untuk Industri

1. Asal Strain Industri

Sumber utama semua strain mikroorganisme industri adalah lingkungan alaminya. Tetapi setelah beberapa tahun, sebagai proses mikrobiologi berskala-besar maka strain dapat menjadi sempurna, sejumlah strain industri disimpan pada koleksi biakan.

Sejumlah koleksi biakan yang tersedia pada tempat penyimpanan biakan mikroorganisme dapat dilihat pada Tabel 11.5. Meskipun koleksi biakan ini dapat tersedia sebagai sumber biakan yang siap pakai, harus dimengerti bahwa sebagian besar perusahaan industri akan enggan menyimpan biakan terbaiknya pada koleksi biakan.

Tabel 11.5 Koleksi biakan (kultur) yang menyediakan biakan mikroorganisme untuk industri

Singkatan	Nama	Tempat
ATCC	American Type Culture Collection	Rockville, MD USA
CBS	Centraalbureau voor Schimmelcultuur	Baam, Netherlands
CCM	Czechoslovak Collection of Microorganismes	J.E. Purkyně University, Brno, Czechoslovakia
CDDA	Canadian Department of Agriculture	Ottawa, Canada
CIP	Collection of the Institut Pasteur	Paris, France
CMI	Commonwealth Mycological Institute	Kew, UK
DSM	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen	Göttingen, Federal Republic of Germany
FAT	Faculty of Agriculture, Tokyo University	Tokyo, Japan
IAM	Institute of Applied Microbiology	University of Tokyo, Japan
NCIB	National Collection of Industrial Bacteria	Aberdeen, Scotland
NCTC	National Collection of Type Culture	London, UK
NRRL	Northern Regional Research Laboratory	Peoria, IL USA

Keterangan: Daftar di atas hanya sejumlah koleksi biakan umum. Beberapa universitas dan laboratorium penelitian memelihara koleksi kelompok biakan mikroorganisme spesifik.

2. Perbaikan Strain Untuk Industri

Seperti kita ketahui, bahwa sumber asal mikroorganisme industri adalah lingkungan alaminya, tetapi isolat asal tersebut akan dimodifikasi secara besar-besaran di laboratorium. Sebagai akibat modifikasi tersebut, dapat diharapkan penambahan perbaikan dalam menghasilkan suatu produk. Peningkatan perbaikan yang paling dramatik, contohnya terjadi pada penisilin, antibiotik yang dihasilkan oleh fungi *Penicillium chrysogenum*. Pertamakali dihasilkan pada skala besar, penisilin diperoleh sebanyak 1-10 µg/ml. Setelah beberapa tahun, sebagai hasil perbaikan strain dengan merubah kondisi pertumbuhan dan medium, hasilnya meningkat menjadi 50.000 µg/ml.

Peningkatan hasil sampai 50.000 kali-lipat diperoleh melalui mutasi dan seleksi; tidak melibatkan manipulasi rekayasa genetika. Selanjutnya diperkenalkan teknik genetika baru, walaupun lebih sederhana, hasilnya meningkat.

3. Syarat-syarat Mikroorganisme Industri

Suatu mikroorganisme dianggap layak digunakan dalam industri, bukan saja mampu menghasilkan substansi yang menarik, tetapi harus lebih dari itu. Mikroorganisme harus tersedia sebagai biakan murni, sifat genetiknya harus stabil, dan tumbuh dalam biakan berskala-besar. Biakan juga harus dapat dipelihara dalam periode waktu yang sangat panjang di laboratorium dan dalam 'plant' industri. Biakan tersebut lebih disukai jika dapat menghasilkan spora dan bentuk sel reproduktif lain sehingga mikroba mudah diinokulasikan ke dalam fermentor besar.

Karakteristik penting yang harus dimiliki mikroorganisme industri yaitu harus tumbuh cepat dan menghasilkan produk yang diharapkan dalam waktu yang relatif singkat, karena alasan sebagai berikut:

1. Alat-alat yang digunakan pada industri berskala besar termasuk mahal, hal tersebut tidak menjadi masalah (secara ekonomi) jika produk dapat dihasilkan dengan cepat;
2. Jika mikroorganisme tumbuh dengan cepat, kontaminasi fermentor akan berkurang;
3. Jika mikroorganisme tumbuh dengan cepat, akan lebih mudah mengendalikan berbagai faktor lingkungan dalam fermentor.

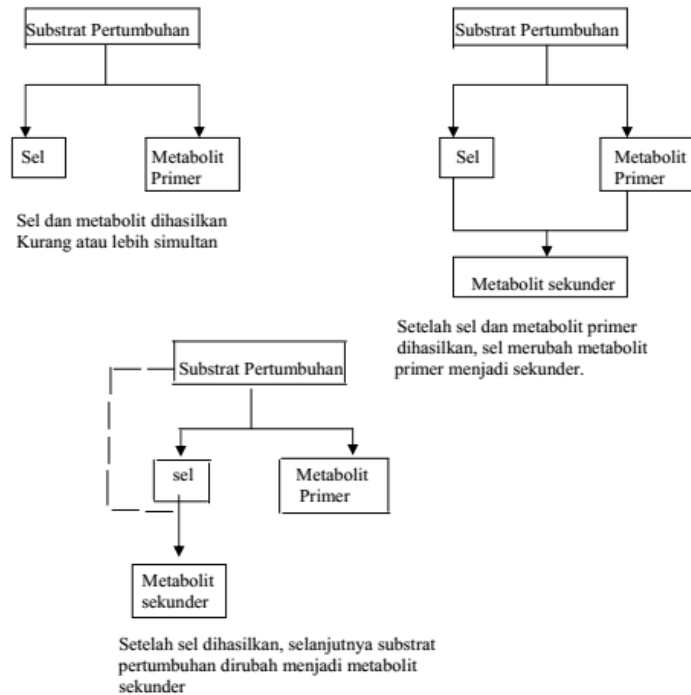
Sifat penting lain yang harus dimiliki mikroorganisme industri adalah:

- a) Tidak berbahaya bagi manusia, dan secara ekonomis penting bagi hewan dan tumbuhan.
- b) Harus non-patogen dan bebas toksin, atau jika menghasilkan toksin, harus cepat di-inaktifkan. Karena, ukuran populasi besar dalam fermentor industri, sebenarnya tidak memungkinkan menghindari kontaminasi dari lingkungan luar fermentor, suatu patogen yang ada akan mampu mendatangkan masalah.
- c) Mudah dipindahkan dari medium biakan. Di laboratorium, sel mikroorganisme pertamakali dipindahkan dengan sentrifugasi, tetapi sentrifugasi bersifat sulit dan mahal untuk industri skala-besar.
- d) Mikroorganisme lebih disukai jika berukuran besar, karena sel lebih mudah dipindahkan dari biakan dengan penyaringan (dengan bahan penyaring yang relatif murah). Sehingga, fungi, ragi, dan bakteri berfilamen, lebih disukai. Bakteri unisel, berukuran kecil sehingga sulit dipisahkan dari biakan cair.
- e) Terakhir, mikroorganisme industri harus dapat direkayasa secara genetik. Dalam bioteknologi mikroorganisme tradisional peningkatan hasil diperoleh melalui mutasi dan seleksi. Mutasi akan lebih efektif untuk mikroorganisme dalam bentuk vegetatif dan haploid, dan bersel satu. Pada organisme diploid dan bersel banyak mutasi salah satu genom tidak akan menghasilkan mutan yang mudah diisolasi. Untuk fungi berfilamen, lebih disukai yang menghasilkan spora, karena filamen tidak mampu mempermudah rekayasa genetika. Organisme juga diharapkan dapat direkombinasi secara genetik, juga dengan proses seksual dan beberapa jenis proses paraseksual. Rekombinasi genetik memungkinkan penggabungan genom tunggal sifat genetik dari beberapa organisme. Teknik yang sering digunakan untuk menciptakan hibrid, bahkan tanpa siklus seksual adalah fusi/penggabungan protoplasma, menyertai regenerasi sel vegetatif dan seleksi progeni hibrid. Bagaimanapun, beberapa strain industri sudah diperbaiki secara genetik tanpa menggunakan rekombinasi genetik.

11.3.3. Produk Mikroorganisme Dalam Proses Industri

Proses pertumbuhan mikroorganisme dan tahap-tahapnya yang meliputi tahap: lag, log, dan fase stationer, sudah diketahui sebelumnya. Berbagai metabolit yang dibentuk pada fase-fase pertumbuhan tersebut perlu diketahui, untuk memperoleh metabolit yang diharapkan dalam proses industri. Terdapat dua bentuk

dasar metabolit mikroorganisme yang disebut metabolit primer dan sekunder. Metabolit primer merupakan salah satu yang dibentuk selama fase pertumbuhan primer mikroorganisme, sedangkan metabolit sekunder merupakan salah satu yang dibentuk menjelang akhir fase pertumbuhan primer mikroorganisme, seringkali menjelang atau fase stationer pertumbuhan.²⁹ Perbandingan antara metabolit primer dengan sekunder dapat dilihat pada Gambar 11.1.

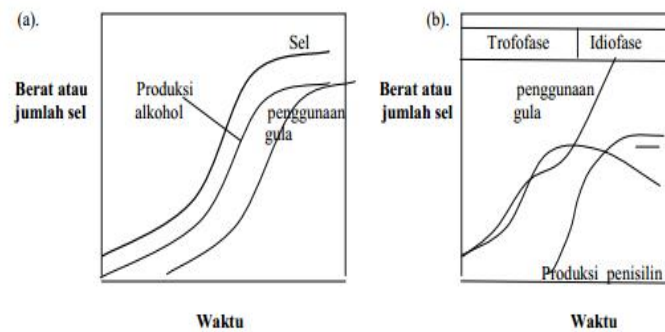


Gambar 11.1 Perbandingan antara metabolit primer dengan sekunder

1. Metabolit Primer

Salah satu proses dimana produknya dihasilkan selama fase pertumbuhan primer mikroorganisme adalah fermentasi alkohol (etanol). Etanol merupakan suatu produk metabolisme anaerobik dari ragi dan bakteri tertentu, dan dibentuk sebagai bagian dari metabolisme energi. Karena pertumbuhan hanya terjadi jika terjadi produksi energi, pembentukan etanol terjadi secara paralel dengan pertumbuhan. Tipe fermentasi alkohol, memperlihatkan pembentukan sel mikroorganisme, etanol, dan penggunaan gula, diperlihatkan pada Gambar 11.2a.

²⁹ Madigan *et al.* 2017. Brock Biologi Mikroorganisme. 14th edition. Penerbit Buku kedokteran EGC



Gambar 11.2 Perbandingan metabolisme primer dengan metabolisme sekunder

a). Metabolisme primer : Pembentukan alkohol oleh sel ragi. (b). Metabolisme sekunder: pembentukan penisilin oleh fungi *Penicillium chrysogenum*, memperlihatkan pemisahan fase pertumbuhan (trofofase) dan fase produksi (idiofase). Catatan pada (b), sebagian besar produk dihasilkan setelah pertumbuhan memasuki fase stasioner.

2. Metabolit Sekunder

Suatu yang sangat menarik, sekalipun sangat kompleks, tipe proses industri mikroorganisme, salah satu produknya yang diharapkan tidak dihasilkan selama fase pertumbuhan primer, tetapi menjelang atau tepat pada fase stasioner Metabolit yang dihasilkan pada fase tersebut sering dinamakan metabolit sekunder, dan merupakan sejumlah metabolit yang penting dan menarik dalam industri. Kinetika tipe proses metabolit sekunder tersebut, pada proses pembentukan penisilin, dapat dilihat pada gambar 11.2b.

Metabolisme primer umumnya sama pada semua sel, sedangkan metabolisme sekunder memperlihatkan perbedaan antara satu organisme dengan yang lainnya.

Karakteristik metabolit sekunder yang dikenal, adalah :

1. Setiap metabolit sekunder dihasilkan hanya oleh sebagian kecil organisme/relatif sedikit.
2. Metabolit sekunder kelihatannya tidak penting untuk pertumbuhan dan reproduksi sel.
3. Pembentukan metabolit sekunder sangat ekstrim bergantung pada kondisi pertumbuhan, khususnya komposisi medium. Sering terjadi tekanan pembentukan metabolit sekunder.
4. Metabolit sekunder sering dihasilkan sebagai kelompok struktur yang berhubungan erat. Sebagai contoh, strain tunggal spesies *Streptomyces* ditemukan dapat menghasilkan 32 antibiotika antrasiklin yang berbeda tetapi berhubungan.
5. Sering terjadi produksi metabolit sekunder secara berlebihan, sedangkan metabolit primer terikat pada metabolisme primernya, biasanya tidak mengalami kelebihan produksi seperti hal tersebut.

3. Trofofase dan Idiofase

Dalam metabolisme sekunder terdapat dua fase yang berbeda, yang disebut trofofase dan idiofase. Trofofase merupakan fase pertumbuhan, sedangkan idiofase merupakan fase pembentukan metabolit. Meskipun merupakan suatu kekeliruan

untuk menganggap hal tersebut menjadi dua fase, tapi istilah tersebut merupakan penyederhanaan yang sesuai, karena menolong kita dalam kajian fermentasi industri. Jadi, jika kita berurusan dengan metabolit sekunder, harus menjamin kondisi yang tersedia selama trofofase untuk pertumbuhan yang baik, selanjutnya kita harus yakin bahwa kondisi tersebut pantas untuk diubah pada waktu yang hampir bersamaan supaya menjamin pembentukan produk yang baik.

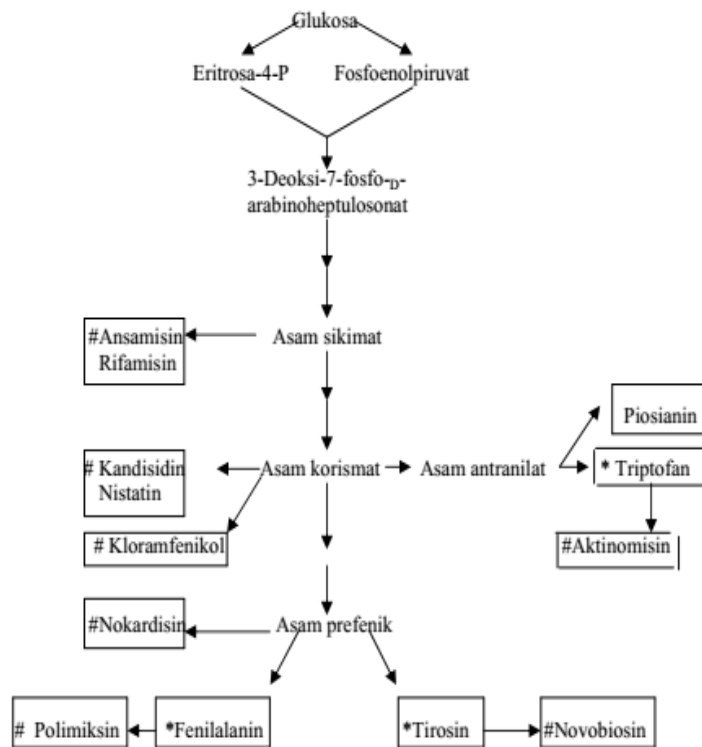
Antibiotika adalah metabolit sekunder yang terkenal dan diteliti secara luas. Pada metabolisme sekunder, terdapat pertanyaan mengapa produk tidak dihasilkan dari substrat pertumbuhan primer, tapi dari produk yang dengan sendirinya dibentuk dari substrat pertumbuhan primer. Jadi metabolit sekunder umumnya dihasilkan dari beberapa produk perantara yang berkumpul dalam medium atau dalam sel, selama metabolisme primer.

Satu karakteristik metabolit sekunder adalah enzim yang terlibat pada produksi metabolit sekunder diatur secara terpisah dari enzim metabolisme primer. Dalam banyak kasus, sudah diidentifikasi *inducer* spesifik metabolit sekunder. Sebagai contoh, inducer spesifik untuk produksi streptomisin, yaitu suatu senyawa yang disebut *A-factor*.³⁰

4. Hubungan Metabolisme Primer Dengan Metabolisme Sekunder

Sebagian besar metabolit sekunder merupakan molekul organik kompleks yang dibutuhkan untuk sintesis sejumlah besar reaksi enzimatik spesifik. Sebagai contoh, saat ini diketahui paling sedikit 72 tahap enzimatik yang dilibatkan dalam sintesis antibiotika tetrasiklin dan lebih dari 25 tahap enzimatik pada sintesis eritromisin, tidak satupun reaksi tersebut terjadi selama metabolisme primer, karena bahan pemula untuk metabolisme datang dari jalur biosintetik utama. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 11.3.

³⁰ Madigan *et al.* 2017. Brock Biologi Mikroorganisme. 14th edition. Penerbit Buku kedokteran EGC



Keterangan : * = metabolit primer, # = metabolit sekunder

Gambar 11.3 Hubungan antara jalur metabolik primer untuk sintesis asam amino aromatik dengan jalur metabolik sekunder untuk berbagai antibiotika

D. PROSES DAN PRODUK INDUSTRI MIKROBIOLOGI

Sampai saat ini, sudah ribuan produk komersial dihasilkan melalui manipulasi mikroorganisme. Produk komersial tersebut dapat dipisahkan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

- (1). Sel mikroorganisme itu sendiri, yang digunakan sebagai bahan makanan tambahan atau untuk bahan imunisasi untuk mencegah penyakit;
- (2). Molekul besar, misalnya enzim, yang disintesis oleh mikroorganisme;
- (3). Produk metabolit primer yang dibentuk oleh mikroorganisme yang penting untuk pertumbuhan sel, misalnya vitamin;
- (4). Produk metabolit sekunder, misalnya antibiotika, yang dibutuhkan untuk pertumbuhan sel mikroorganisme.

Berbagai proses industri digunakan untuk menghasilkan produk mikrobiologi tersebut dan dipisahkan menjadi beberapa kategori, berdasarkan kecenderungan penggunaan produk akhir, yaitu:

a. Produksi bahan kimia farmasi.

Produk yang paling terkenal dari kelompok ini adalah antibiotika dan obat-obat steroid. Produk farmasi lain yang sering digunakan adalah insulin dan interferon, yang sekarang dihasilkan melalui bakteri rekayasa genetika, juga sejumlah produk baru dari hasil rekayasa genetika.

b. Produksi bahan kimia bernilai komersial.

Produk dalam kelompok ini termasuk pelarut dan enzim, juga berbagai senyawa yang digunakan untuk bahan pemula (*'starting'*) untuk industri sintesis senyawa lain.

c. Produksi makanan tambahan.

Produksi massa ragi, bakteri dan alga, dari media yang murah mengandung garam nitrogen anorganik dan yang lainnya, cepat saji, dan menyediakan sumber protein dan senyawa lain yang sering digunakan sebagai makanan tambahan untuk manusia dan hewan.

d. Produksi minuman alkohol.

Pembuatan "beer" dan "wine", dan produksi minuman alkohol lain yang merupakan proses bioteknologi berskala-besar paling tua.

e. Produksi vaksin.

Sel mikroorganisme maupun bagiannya, atau produknya dihasilkan dalam jumlah besar dan digunakan untuk produksi vaksin.

f. Produksi mikroorganisme untuk digunakan sebagai insektisida (biosida).

Pengendalian hama tanaman dengan menggunakan mikroorganisme yang berperan sebagai insektisida. Khususnya untuk spesies tertentu, misalnya *Bacillus* (*B. larvae*, *B. popilliae* dan *B. thuringiensis*). Spesies tersebut menghasilkan protein kristalin yang mematikan larva lepidoptera (ngengat, kupu-kupu, kutu-loncat), misalnya ulat kubis, ngengat gipsy dan sarang ulat.

g. Penggunaannya dalam industri perminyakan dan pertambangan.

Sejumlah prosedur mikrobiologi digunakan untuk meningkatkan perolehan kembali logam dari bijih berkadar-rendah dan untuk perbaikan perolehan minyak dari sumur-sumur bor.

1. Antibiotika

Antibiotika merupakan senyawa kimia yang dihasilkan oleh mikroorganisme, dan dapat menghambat atau membunuh mikroorganisme lain. Perkembangan antibiotika sebagai zat untuk pengobatan penyakit infeksi lebih banyak mempengaruhi penggunaan obat dibandingkan dengan perkembangan antibiotik itu sendiri.

Antibiotika merupakan produk metabolisme sekunder. Meskipun hasilnya relatif rendah dalam sebagian besar industri fermentasi, tetapi karena aktivitas terapetiknya tinggi maka menjadi memiliki nilai ekonomik tinggi, oleh karena itu antibiotika dibuat secara komersial melalui fermentasi mikroba. Beberapa antibiotika dapat disintesis secara kimia, tetapi karena kompleksitas bahan kimia antibiotika dan cenderung menjadi mahal, maka tidak memungkinkan sintesis secara kimia dapat bersaing dengan fermentasi mikroorganisme.

Penggunaan antibiotika secara komersial, pertamakali dihasilkan oleh fungi berfilamen dan oleh bakteri kelompok *actinomycetes*. Daftar sebagian besar antibiotika yang dihasilkan melalui fermentasi industri berskala-besar, dapat dilihat pada Tabel 13.2. Seringkali, sejumlah senyawa kimia berhubungan dengan keberadaan antibiotika, sehingga dikenal famili antibiotik. Antibiotika dapat dikelompokkan berdasarkan strukturnya (Tabel 13.2). Sebagian besar antibiotika digunakan secara medis untuk mengobati penyakit bakteri, meskipun sebagian diketahui efektif menyerang penyakit fungi. Secara ekonomi dihasilkan

lebih dari 100.000 ton antibiotika per tahun, dengan nilai penjualan hampir mendekati \$ 5 milyar.

Tabel 11.6 Beberapa antibiotika yang dihasilkan secara komersial

Antibiotika	Mikroorganisme penghasil	Tipe mikroorganisme
Basitrasin	<i>Bacillus subtilis</i>	Bakteri pembentuk-spora
Sefalosporin	<i>Cephalosporium sp.</i>	Fungi
Kloramfenikol	Sintesis senyawa kimia (dulu oleh <i>Streptomyces venezuelae</i>)	Actinomycete
Sikloheksimid	<i>Streptomyces griseus</i>	Actinomycete
Sikloserin	<i>Streptomyces orchidaceus</i>	Actinomycete
Erytromisin	<i>Streptomyces erythreus</i>	Fungi
Griseofulvin	<i>Penicillium griseofulvin</i>	Actinomycete
Kanamisin	<i>Streptomyces kanamyceticus</i>	Actinomycete
Linkomisin	<i>Streptomyces lincolnensis</i>	Actinomycete
Neomisin	<i>Streptomyces fradiae</i>	Actinomycete
Nistatin	<i>Streptomyces noursei</i>	Fungi
Penisilin	<i>Penicillium chrysogenum</i>	Bakteri pembentuk-spora
Polimiksin B	<i>Bacillus polymyxa</i>	Actinomycete
Streptomisin	<i>Streptomyces griseus</i>	Actinomycete
Tetrasiklin	<i>Streptomyces rimosus</i>	Actinomycete

a. Pencarian Antibiotika Baru

Bahan antibiotik yang sudah diketahui, lebih dari 8.000 , dan beberapa ratus antibiotika ditemukan dalam beberapa tahun. Dan sejumlah peneliti mempercayai bahwa berbagai antibiotika baru dapat ditemukan lagi jika penelitian dilakukan terhadap kelompok mikroorganisme selain *Streptomyces*, *Penicillium*, dan *Bacillus*. Sekali diketahui urutan struktur gen mikroorganisme penghasil-antibiotika, dengan teknik rekayasa genetika memungkinkan pembuatan antibiotika baru.

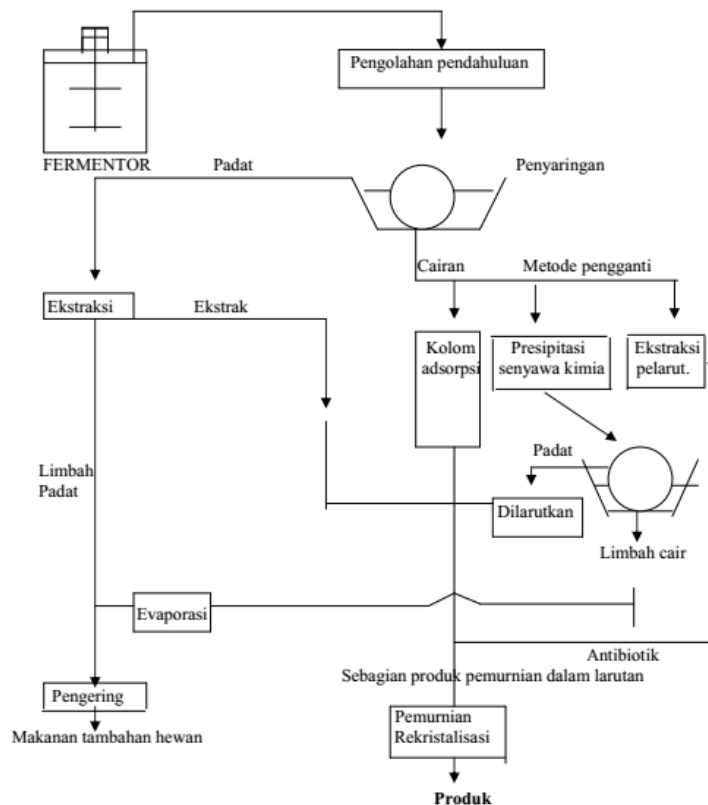
Cara utama dalam menemukan antibiotika baru yaitu melalui 'screening'. Dengan pendekatan tersebut, sejumlah isolat yang kemungkinan mikroorganisme penghasil-antibiotika yang diperoleh dari alam dalam kultur murni, selanjutnya isolat tersebut diuji untuk produksi antibiotika dengan bahan yang "diffusible" , yang menghambat pertumbuhan bakteri uji. Bakteri yang digunakan untuk pengujian, dipilih dari berbagai tipe, dan mewakili atau berhubungan dengan bakteri patogen. Prosedur pengujian mikroorganisme untuk produksi antibiotika adalah metode goresilang, pertamakali digunakan oleh Fleming. Dengan program pemisahan arus, ahli mikrobiologi dapat dengan cepat mengidentifikasi, apakah antibiotika yang dihasilkan termasuk baru atau tidak. Sekali ditemukan organisme penghasil antibiotika baru, antibiotika dihasilkan dalam sejumlah besar, dimurnikan, dan diuji toksisitas dan aktivitas terapeutiknya kepada hewan yang terinfeksi. Sebagian besar antibiotika baru gagal menyembuhkan hewan uji, dan sejumlah kecil dapat berhasil dengan baik. Akhirnya, sejumlah antibiotika baru ini sering digunakan dalam pengobatan dan dihasilkan secara komersial.

Tabel 11.7 Klasifikasi antibiotika sesuai dengan struktur kimianya dan contoh antibiotika

Antibiotika	Contoh
1. Antibiotika mengandung-karbohidrat	
- Gula murni	Nojirimisin
- Aminoglikosida	Streptomisin
- Ortosomisin	Everninomisin
- N-glikosida	Streptotrisin
- C-glikosida	Vankomisin
- Glikolipid	Moenomisin
2. Lakton makrosiklik	
- Antibiotik makrolida	Eritromisin
- Antibiotik polien	Kandisidin
- Ansamisin	Rifamisin
- Makrotetrolida	Tetranaktin
3. Quinon dan antibiotika yang berhubungan.	
- Tetrasiklin	Tetrasiklin
- Antrasiklin	Adriamisin
- Naftoquinon	Aktinorodin
- Benzoquinon	Mitomisin
4. Antibiotika peptida dan asam amino	
- Turunan asam amino	Sikloserin
- Antibiotik β -laktam	Penisilin
- Antibiotik peptida	Basitrasin
- Kromopeptida	Aktinomisin
- Depsipeptida	Valinomisin
- Peptida pembentuk-selat	Bleomisin
5. Antibiotika heterosiklik mengandung nitrogen	
- Antibiotika nukleosida	Polioksin
6. Antibiotika heterosiklik mengandung oksigen	
- Antibiotika polietar	Monensin
7. Turunan alisiklik	
- Turunan sikloalkan	Sikloheksimida
- Antibiotika steroid	Asam fusidat
8. Antibiotik aromatik	
- Turunan benzen	Kloramfenikol
- Antibiotika aromatik terkondensasi	Griseofulvin
- Eter aromatik	Novobiosin
9. Antibiotika alifatik	
- Senyawa mengandung fosfor	Fosfomisin

b. Tahap-tahap Menuju Produksi Komersial

Suatu antibiotika yang dihasilkan secara komersial, pada awalnya harus berhasil diproduksi pada fermentor industri berskala-besar. Salah satu gugus-tugas penting adalah pengembangan efisiensi metode pemurnian. Metode elaborasi (yang terperinci) sangat penting dalam ekstraksi dan pemurnian antibiotika, karena jumlah antibiotika yang terdapat dalam cairan fermentasi hanya sedikit (Gambar 11.8)



Gambar 11.4 Seluruh proses ekstraksi dan pemurnian antibiotik

Jika antibiotika larut dalam pelarut organik yang tidak dapat bercampur dengan air, maka pemurniannya relatif lebih mudah, karena memungkinkan untuk mengekstraksi antibiotika ke dalam suatu pelarut bervolume kecil, sehingga lebih mudah mengumpulkan antibiotika tersebut. Jika antibiotika tidak larut dalam pelarut, selanjutnya harus dipindahkan dari cairan fermentasi melalui adsorpsi, pertukaran ion, atau presipitasi secara kimia. Pada semua kasus, tujuannya untuk memperoleh produk kristalin yang sangat murni, meskipun sejumlah antibiotika tidak mudah terkristalisasi dan sulit dimurnikan.

Masalah yang berhubungan adalah, kultur sering menghasilkan produk akhir lain, termasuk antibiotika lain, dalam hal ini penting mengakhiri proses dengan suatu produk yang hanya terdiri dari antibiotik tunggal. Pemurnian secara kimia mungkin dibutuhkan untuk mengembangkan metode dalam rangka menghilangkan produk sampingan yang tidak diharapkan, tetapi dalam beberapa kasus hal tersebut penting untuk ahli mikrobiologi untuk menemukan strain yang tidak menghasilkan senyawa kimia dan tidak diharapkan.

2. Vitamin dan Asam amino

Vitamin dan asam amino merupakan faktor pertumbuhan yang sering digunakan dalam farmasi atau ditambahkan kepada makanan. Beberapa vitamin dan asam amino yang penting, dihasilkan secara komersial melalui proses mikrobiologi.

a. Vitamin

Vitamin digunakan sebagai tambahan pada makanan manusia dan pakan ternak. Produksi vitamin, berada kedua setelah antibiotika dalam hal penjualan total produk farmasi dengan nilai lebih dari \$ 700 juta per tahun. Sebagian besar vitamin dibuat secara komersial melalui sintesis bahan kimia. Sejumlah vitamin terlalu sulit disintesis dengan biaya murah tapi keuntungannya vitamin dapat dibuat dengan fermentasi mikrobial. Vitamin B12 dan riboflavin yang terpenting dalam kelompok vitamin.

Vitamin B12, disintesis secara khusus di alam oleh mikroorganisme. Kebutuhan vitamin ini pada hewan dipenuhi melalui ambilan makanan atau melalui absorpsi vitamin yang dihasilkan mikroorganisme dalam usus hewan.

Tetapi pada manusia vitamin B12 diperoleh melalui makanan atau sebagai tambahan vitamin, karena seandainya vitamin ini disintesis oleh mikroorganisme dalam jumlah yang besar di dalam usus besar, tetapi tidak masuk ke dalam saluran darah.

Strain mikroorganisme dipilih dan digunakan untuk menghasilkan banyak vitamin. Anggota bakteri dari genus *Propionibacterium* menghasilkan vitamin mulai dari 19-23 mg/liter pada proses dua-tahap, sedangkan bakteri lain, *Pseudomonas denitrificans* menghasilkan 60 mg/liter pada proses satu-tahap yang menggunakan molase gula-bit sebagai sumber karbon. Vitamin B12 mengandung kobalt sebagai bagian esensial strukturnya, dan untuk meningkatkan produksi vitamin, dilakukan dengan menambahkan kobalt pada medium biakan.

Riboflavin disintesis oleh beberapa mikroorganisme, termasuk bakteri, fungi, dan ragi. Fungi *Ashbya gossypii* menghasilkan sejumlah besar riboflavin (> 7 gram/liter) dan oleh karena itu sering digunakan dalam proses produksi mikrobiologi. Hasil perolehan yang sangat banyak ini menyebabkan persaingan ekonomi tinggi di antara proses mikrobiologi dengan proses sintesis secara kimia.

b. Asam amino

Asam amino digunakan secara luas dalam industri makanan, tambahan pakan, dalam obat, dan sebagai bahan pemula pada industri kimia (Tabel 11.10). Sebagian besar asam amino yang penting secara komersial adalah asam glutamat, yang digunakan untuk meningkatkan rasa. Dua asam amino yang juga penting, asam aspartat dan fenilalanin, yang menyusun bahan pemanis buatan, aspartat, merupakan unsur penting dalam minuman ringan diet dan makanan lain yang dijual sebagai produk bebas-gula. Lisin, merupakan asam amino esensial untuk manusia, dihasilkan oleh *Brevibacterium flavum*, juga digunakan sebagai tambahan makanan.

Meskipun sebagian besar asam amino dapat dibuat secara kimia, sintesis bahan kimia menyebabkan pembentukan bentuk DL inaktif. Jika secara biokimia bentuk L dibutuhkan, maka diperlukan metode enzimatik atau metode mikrobiologi pada pembuatannya. Produksi asam amino secara mikrobiologi juga dapat melalui fermentasi langsung, dimana mikroorganisme menghasilkan asam amino dalam suatu proses fermentasi standar, atau melalui proses enzimatik, dimana mikroorganisme sebagai sumber enzim dan enzim tersebut digunakan dalam proses produksi.

Tabel 11.8 Asam amino yang digunakan pada industri makanan

Asam amino	Makanan	Tujuan
Glutamat (MSG)	Berbagai makanan	Meningkatkan rasa
Aspartat dan alanin	Juice Buah	Menyempurnakan rasa
Glisin	Pemanis makanan	Perbaikan rasa
Sistein	Roti	Perbaikan kualitas
	Juice Buah	Antioksidan
Triftofan + histidin	Berbagai makanan, susu bubuk	Antioksidan, mencegah tengik
Aspartam (dibuat dari fenilalanin + asam aspartat)	Minuman ringan, dsb.	Pemanis rendah-kalori
Lisin	Roti (Jepang)	Tambahan nutrisi
Metionin	Produk kedelai	Tambahan nutrisi

3. Enzim

Setiap organisme menghasilkan berbagai enzim, sebagian besar dihasilkan dalam jumlah yang kecil dan dilibatkan dalam proses seluler. Bagaimanapun, enzim tertentu dihasilkan dalam jumlah yang besar oleh beberapa organisme, dan dibutuhkan dalam sel, dikeluarkan ke dalam medium. Enzim ekstraseluler biasanya dapat menguraikan bahan nutrisi yang tak-larut misalnya selulosa, protein, pati, dan hasil pencernaan selanjutnya diangkut ke dalam sel, dimana enzim digunakan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan. Beberapa enzim ekstraseluler digunakan dalam makanan, perusahaan susu, pabrik obat, dan industri tekstil dan dihasilkan dalam jumlah yang besar melalui sintesis mikrobiologi (Tabel 11.12). Enzim tersebut sering digunakan karena spesifisitas dan efisiensi pada reaksi katalisis yang dibutuhkan, pada suhu dan pH yang wajar. Reaksi yang sama dapat dicapai dengan bahan kimia yang umumnya membutuhkan kondisi suhu dan pH ekstrim, dan kurang efisien dan kurang spesifik.

Secara komersial enzim dihasilkan dari fungi dan bakteri. Proses produksi biasanya aerobik, dan medium biakan sama dengan yang digunakan pada fermentasi antibiotik. Enzim itu sendiri umumnya hanya sedikit dibentuk selama fase pertumbuhan aktif tetapi akumulasi dalam jumlah besar terjadi selama fase stasioner pertumbuhan.

Enzim mikroorganisme dihasilkan dalam jumlah yang sangat banyak pada suatu industri dasar adalah protease bakteri, digunakan sebagai tambahan dalam deterjen pencuci. Sejak tahun 1969, 80% deterjen pencuci mengandung enzim, khususnya protease, juga amilase, lipase, reduktase, dan enzim lain. Tetapi mulai Tahun 1971, penggunaannya menurun setelah terjadi alergi pada pemakai dan konsumen, sehingga dikembangkan teknik pemrosesan khusus misalnya '*microencapsulation*' untuk menjamin pengolahan bebas-debu.

Enzim penting lain yang dibuat secara komersial adalah amilase dan glukamilase, yang digunakan dalam produksi glukosa dari pati. Setelah dihasilkan glukosa, selanjutnya dengan bantuan glukosa isomerase akan diubah menjadi fruktosa (yang lebih manis dari glukosa dan sukrosa) dan menghasilkan produk akhir pemanis fruktosa-tinggi dari pati jagung, gandum, atau kentang. Penggunaan proses tersebut dalam industri makanan mengalami peningkatan, khususnya dalam produksi minuman ringan.

Tiga reaksi yang terjadi dalam perubahan pati jagung menjadi produk yang disebut sirup jagung fruktosa-tinggi, masing-masing reaksi dikatalisis oleh enzim mikroba secara terpisah :

1. Enzim **α -amilase** menyerbu polisakarida pati, memecah rantai, dan Mengurangi viskositas polimer. Reaksi ini disebut '*thinning reaction*'.
2. Enzim **glukoamilase** memecah polisakarida rantai pendek menghasilkan monomer glukosa, proses tersebut dinamakan '*saccharification*'.
3. Enzim **glukosa isomerase** merubah glukosa menjadi fruktosa, prosesnya disebut '*isomerization*'.

4. Alkohol dan Minuman Beralkohol

Penggunaan ragi untuk menghasilkan minuman beralkohol merupakan proses yang kuno. Sebagian besar jus buah mengalami fermentasi secara alami oleh ragi yang terdapat pada buah-buahan. Dari fermentasi alamiah ini, selanjutnya ragi dipilih untuk mengontrol produksi, dan saat ini, produksi minuman beralkohol merupakan suatu industri besar. Minuman beralkohol terpenting ialah anggur atau "wine", dihasilkan melalui fermentasi juice buah; beer, dihasilkan melalui fermentasi biji padi mengandung-ragi, minuman distilasi, dihasilkan melalui pengumpulan alkohol hasil fermentasi dengan distilasi.

a. "Wine"

"Wine" merupakan produk fermentasi alkohol oleh ragi pada jus buah atau bahan lain yang mengandung gula tinggi. Sebagian besar "wine" dibuat dari anggur, kecuali kalau dikhususkan untuk produk lain, "wine" dunia mengarah pada produk yang dihasilkan dari fermentasi jus anggur. Pembuatan "wine" terjadi pada belahan dunia dimana anggur tumbuh dan bernilai ekonomi tinggi. Negara penghasil wine terbesar, menurunkan volume produksinya adalah Itali, Perancis, Spanyol, Algeria, Argentina, Portugal, Dan Amerika Serikat. Wine pertamakali dibuat di Mesir dan Mesopotamia sebelum tahun 2000 S.M. dan menyebar luas ke daerah Mediterania, penghasil anggur terbesar. Terdapat banyak perbedaan pada sejumlah wine, karena kualitas dan sifatnya. Wine kering merupakan wine dimana seluruh gula dalam jus difermentasi, sedangkan wine manis, adalah sejumlah gula ditambahkan setelah proses fermentasi.

Suatu '*fortified wine*' adalah salah satu brandy atau minuman beralkohol lain yang ditambah gula setelah proses fermentasi, sherry dan port merupakan '*fortified wine*' yang sangat terkenal. Kandungan karbon dioksida merupakan salah satu pertimbangan dalam memilih wine, peningkatan langsung pada fermentasi akhir oleh ragi dalam botol.

Buah anggur dihancurkan dengan mesin, dan jus tersebut dinamakan '*must*', diperas ke luar. Bergantung pada anggur yang digunakan dan bagaimana must disiapkan, dapat dihasilkan white wine/putih dan red wine/merah.

White wine dibuat dari anggur putih/hijau atau dari juice anggur merah yang dibuang kulitnya. Pada pembuatan red wine, '*pomace*' (kulit, biji, dan potongan batang) dibuang selama fermentasi. Sebagai tambahan untuk membedakan warna, red wine berwarna lebih tua dari white wine karena adanya sejumlah bahan kimia yang disebut tanin, yang diekstrak dari kulit anggur dan dimasukkan ke dalam juice selama fermentasi.

Terdapat dua tipe fermentasi wine yang melibatkan ragi : pertama, yang disebut '*wild yeasts*', ragi yang terdapat pada buah anggur yang diambil dari alam dan dipindahkan ke dalam juice, dan kedua, ragi wine yang dibiakkan, *Saccharomyces ellipsoides*, yang ditambahkan ke dalam juice untuk

memulai fermentasi. Salah satu perbedaan terpenting di antara dua ragi ini adalah toleransinya terhadap alkohol. Sebagian besar ragi hanya toleran terhadap kadar alkohol sekitar 4%, dan ketika kadar alkohol melebihi kadar tersebut maka fermentasi berhenti. Ragi wine memiliki toleransi lebih dari 12-14% alkohol sebelum menghentikan pertumbuhannya. Pada '*unfortified wine*', kandungan akhir alkohol ditentukan oleh toleransi ragi terhadap alkohol dan oleh jumlah gula yang terdapat dalam juice. Pada sebagian besar '*unfortified wine*', kandungan alkoholnya berkisar 8-14%. Pada '*fortified wine*', misalnya *sherry* memiliki kandungan alkohol sebanyak 20%, tetapi hal ini dapat dicapai melalui penambahan waktu distilasi minuman keras, misalnya *brandy*. Distilasi '*malt brews*' (minuman hasil fermentasi ragi dari gandum) menghasilkan *whiskey*. Pada produksi minuman beralkohol rendah, '*wild yeasts*' tidak menghasilkan sejumlah komponen rasa yang diharapkan pada produk akhir, dan peningkatan pertumbuhan '*wild yeasts*' tidak dibutuhkan selama fermentasi.

Cara membunuh '*wild yeasts*' dalam '*must*' dilakukan dengan penambahan sulfur dioksida sebanyak 100 ppm. Sedangkan ragi wine biakkan bersifat resisten terhadap kadar sulfur dioksida tersebut dan ditambahkan sebagai kutur pemula dari pertumbuhan biakan murni pada sterilisasi dan pasteurisasi jus anggur. Selama tahap awal, terdapat udara dalam cairan dan terjadi pertumbuhan ragi dengan cepat; selanjutnya udara tersebut digunakan, berkembang keadaan anaerobik dan mulai terjadi produksi alkohol.

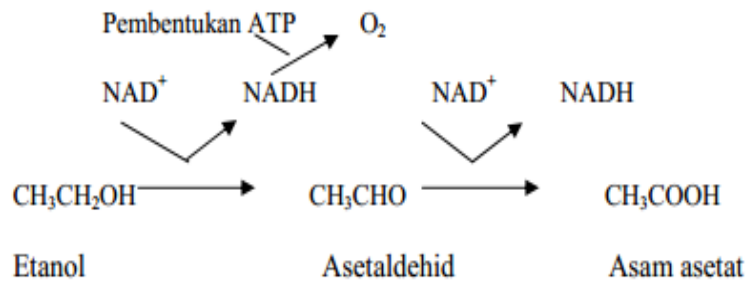
Fermentasi dapat terjadi dalam tong dengan berbagai ukuran, mulai dari 50 galon - 55.000 galon (1 galon = 4 liter), tong dibuat dari kayu oak, semen, batu, dan logam bergaris-kaca. Penting mengendalikan temperatur selama fermentasi, karena, metabolisme ragi tetap terjadi pada temperatur di bawah 29°C, dan wine terbaik dihasilkan pada temperatur rendah, sekitar 21 sampai 24°C. Pengendalian suhu dicapai dengan baik dengan penggunaan pembungkus tong yang dialiri air dingin. Fermentor harus dibuat sehingga karbon dioksida yang dihasilkan selama fermentasi dapat dikeluarkan sedangkan udara luar tidak dapat masuk, hal ini dapat dilakukan dengan melengkapi tong dengan kran satu-jalur.

Pada red wine, setelah 3-5 hari fermentasi, tanin dan warna diekstrak dari '*pomace*', dan wine dialirkan ke dalam tong baru untuk fermentasi selanjutnya, biasanya antara satu sampai dua minggu. Tahap selanjutnya adalah '*racking*'; wine dipisahkan dari endapan ('*lees*'), yang mengandung ragi dan endapan organik, dan disimpan pada suhu yang lebih rendah untuk '*aging*'/penuaan, peningkatan rasa, dan selanjutnya klarifikasi. Klarifikasi akhir dapat dipercepat dengan penambahan bahan yang disebut '*fining agents*' seperti kasein, tanin, atau tanah lempung, atau wine dapat disaring melalui tanah diatom, asbestos, atau filter membran. Selanjutnya wine dimasukkan ke dalam botol dan disimpan untuk penuaan selanjutnya atau dijual. Red wine biasanya dituakan selama beberapa tahun atau lebih, tetapi white wine dijual tanpa proses penuaan. Selama proses tersebut, terjadi perubahan bahan kimia kompleks, menyebabkan peningkatan rasa dan aroma.

b. Cuka

Cuka merupakan produk yang dihasilkan dari perubahan etil alkohol menjadi asam asetat oleh bakteri asam asetat, anggota genera *Acetobacter* dan *Gluconobacter*. Cuka juga dapat dihasilkan dari sejumlah bahan beralkohol,

meskipun bahan pemula biasanya wine atau jus apel beralkohol (“*cider*”). Cuka juga dapat dihasilkan dari campuran alkohol murni dalam air, dalam kasus ini disebut cuka didistilasi, istilah didistilasi mengacu pada alkohol yang merupakan produk yang dibuat dari cuka itu sendiri. Cuka digunakan sebagai campuran dalam salad atau makanan lain, juga digunakan sebagai pengawet makanan karena keasamannya. Daging dan sayuran yang diawetkan dalam cuka dapat disimpan selama beberapa tahun tanpa pendinginan.



Gambar 11.5 Oksidasi etanol menjadi asam asetat

Bakteri asam asetat aerobik merupakan kelompok eubakteria; jangan dikelirukan antara bakteri ini dengan eubakteria acetogen anaerob. Bakteri asam asetat aerobik berbeda dari bakteri aerobik lain, karena tidak mengoksidasi sumber energinya secara lengkap menjadi CO₂ dan air (H₂O) (Gambar 13-7). Sehingga ketika bakteri ini hanya mengoksidasi etil alkohol yang tersedia, menjadi asam asetat, yang berkumpul dalam medium. Bakteri asam asetat, sangat toleran terhadap asam dan tidak terbunuh oleh asam yang dihasilkannya. Terjadi penggunaan oksigen tinggi selama pertumbuhannya, dan masalah utama tersebut dalam pembuatan cuka, diselesaikan dengan menjamin aerasi yang cukup dalam medium.

Terdapat tiga proses yang berbeda dalam pembuatan cuka :

1. Metode Orleans atau tong-terbuka, merupakan proses asal dan digunakan di Perancis, dimana metode tersebut berkembang. Wine ditempatkan dalam tong yang dangkal dengan pertimbangan dapat terpapar udara, dan bakteri asam asetat tumbuh sebagai lapisan berlendir pada bagian permukaan cairan. Proses ini sangat tidak efisien, karena sedikit bagian yang kontak antara bakteri dengan udara, yaitu bagian permukaan;
2. Metode Trickle, dimana kontak antara bakteri, udara, dan substrat ditingkatkan melalui aliran cairan beralkohol di atas potongan ranting kayu *beech* atau potongan kayu dalam tong atau kolom, sedangkan aliran udara masuk dari bagian bawah tong menuju ke bagian atas. Bakteri tumbuh pada permukaan ranting, sehingga dapat terpapar udara dan cairan secara maksimum. Umur kayu yang digunakan dalam generator cuka, mulai 5-30 tahun, bergantung jenis cairan beralkohol yang digunakan dalam proses tersebut.
3. Metode bubble, cara ini berdasarkan proses fermentasi di bawah permukaan air, seperti yang dilakukan untuk produksi antibiotik. Efisiensi proses sangat tinggi, sekitar 90-98% alkohol dirubah menjadi asam. Kelemahan metode ini ialah, produk harus segera disaring untuk membuang bakteri, sedangkan pada metode yang lainnya

produk bebas dari bakteri, karena sel bakteri diikat dalam lapisan berlendir ataumenempel pada potongan kayu.

c. Asam sitrat dan Senyawa Organik lain

Beberapa senyawa organik dihasilkan oleh mikroorganisme dalam jumlah yang cukup sehingga dapat dibuat melalui fermentasi secara komersial. **Asam sitrat**, digunakan secara luas dalam makanan dan minuman, **asam itakonat**, digunakan dalam pembuatan resin akrilik, dan **asam glukonat**, digunakan dalam bentuk kalsium glukonat untuk mengobati defisiensi kalsium pada manusia dan dalam industri digunakan sebagai pelembut dan pencuci, dihasilkan oleh fungi. **Sorbose** dihasilkan ketika *Acetobacter* mengoksidasi sorbitol, digunakan dalam pembuatan asam askorbat, vitamin C. **Gibberellin** merupakan hormon pertumbuhan tanaman dihasilkan oleh fungi, digunakan untuk menstimulasi pertumbuhan tanaman, **Dihidroksiaseton** dihasilkan melalui oksidasi gliserol oleh *Acetobacter*, digunakan sebagai pemoles tubuh saat berjemur (‘*suntanning agents*’), **Dextran**, suatu getah yang digunakan untuk menggabungkan plasma-darah dan sebagai reagen biokimia, dan **asam laktat** digunakan dalam industri makanan untuk mengasamkan makanan dan minuman, dihasilkan oleh bakteri asam laktat. **Aseton dan butanol** dapat dihasilkan melalui fermentasi oleh *Clostridium acetobutylicum* tetapi saat ini diproduksi dari industri petrokimia melalui sintesis senyawa kimia secara ketat.

d. Produk Mammalia Dari Hasil Rekayasa Genetika Mikroorganisme

Meskipun sebagian besar produk mikroorganisme dihasilkan dari bioteknologi mikroorganisme tradisional, saat ini sejumlah produk dapat dibuat melalui mikroorganisme yang direkayasa genetiknya. Perhatian terbesar ditujukan pada produksi protein dan peptida mamalia melalui penggunaan mikroorganisme karena beberapa bahan obat-obatan yang bernilai tinggi, dan mahal, juga sulit dihasilkan dengan metode lain. Jika gen yang mengkode untuk produksi protein mamalia dapat diklon ke dalam suatu mikroorganisme, dan diperoleh ekspresi yang baik dari gen tersebut, maka proses bioteknologi untuk membuat protein tersebut dapat dengan mudah dikembangkan. Meskipun rekayasa genetik dalam bioteknologi termasuk hal yang sangat menjanjikan, memperoleh suatu produk untuk pemasaran merupakan suatu usaha yang sangat sulit. Selain itu masalah juga terdapat pada kloning dan ekspresi gen yang menarik dalam suatu mikroorganisme, umumnya bakteri dan fungi, dan pemurnian produk yang diharapkan, persoalan yang berhubungan misalnya percobaan secara klinik dan persetujuan pemerintah harus dipertimbangkan.

Beberapa produk hasil sintesis mikroorganisme dengan tujuan untuk digunakan oleh manusia harus dicobakan secara luas dalam klinik. Sebagai contoh insulin manusia diperoleh melalui teknologi DNA rekombinan, harus melalui percobaan klinik dengan manusia sukarelawan, meskipun pada kenyataannya insulin tersebut identik dengan protein yang dibuat dalam tubuh manusia.

Terdapat ratusan produk melalui perkembangan dan percobaan klinik, beberapa diantaranya adalah :

1) Hormon.

Produksi insulin manusia mengarah pada bioteknologi produksi hormon. Hormon penting lain yang dihasilkan melalui mikroorganisme rekombinan adalah hormon pertumbuhan manusia untuk mengobati “dwarfisme”, faktor pertumbuhan epidermal untuk menstimulasi penyembuhan luka, faktor pertumbuhan tulang untuk mengobati osteoporosis, dan faktor pertumbuhan hewan untuk menstimulasi pertumbuhan hewan ternak dengan maksud mengurangi biaya pakan dan agar hewan dapat segera dipasarkan.

2) Protein Darah.

Sejumlah protein yang dilibatkan dalam pembekuan darah dan proses darah lainnya, sudah dikembangkan untuk digunakan dalam bidang kesehatan. Terutama aktivator plasminogen jaringan dan faktor pembekuan VII, VIII, dan IX. **Aktivator plasminogen jaringan (TPA/ tissue plasminogen activator)** merupakan protein yang ditemukan dalam darah yang berperan dalam mencari dan melarutkan darah yang tua dan beku pada tahap akhir proses penyembuhan. Pemakaian TPA terutama untuk pasien jantung atau seseorang yang menderita tekanan darah rendah karena memiliki kecenderungan pembekuan. TPA digunakan setelah operasi bypass jantung, transplantasi, atau bedah jantung lainnya untuk mencegah perkembangan embolisme pulmonari yang mengancam kehidupan. Pada sejumlah negara berkembang, penyakit jantung yang menyebabkan kematian, adanya produk TPA melalui proses mikrobiologik menjadi sangat menjanjikan. Kebalikan dari TPA, **faktor pembekuan VII, VIII, dan IX**, sangat diperlukan untuk pembentukan pembekuan darah. Penderita hemofilia karena defisiensi satu atau banyak faktor pembekuan dapat segera diobati dengan produk yang dihasilkan melalui proses mikrobiologik ini. Protein darah lainnya yang sangat menarik dalam bioteknologi adalah **eritropoietin**, suatu protein yang menstimulasi pembentukan sel darah merah, penggunaannya sangat menjanjikan untuk pengobatan anemia.

3) Zahan Antikanker dan Modulator Imun.

Berbagai protein dimasukkan ke dalam kelompok ini, beberapa peran menjanjikan digunakan pada perang melawan kanker, terutama **interferon**. Interferon merupakan protein yang dibuat oleh sel hewan dalam responnya terhadap infeksi virus. **Alfa interferon** sering digunakan sebagai bahan antikanker. Perlakuan sel tumor dengan alfa interferon menyebabkan sel tumor mengekspresikan antigen spesifik-tumor. Fenomena ini sangat bermanfaat dalam terapi kanker karena setelah pemberian alfa interferon, antibodi monoklonal melangsungkan penyerangan terhadap sel tumor, dapat digunakan sebagai sarana pembawa obat beracun kepada sel tumor. Interleukin-2 merupakan protein yang menstimulasi produksi limfosit T.

Jika bergabung dengan dua protein tambahan lainnya, *tumor necrosing factor (TNF)* dan **granulocyte macrophage colony stimulating factor (GMCSF)**, interleukin sangat menjanjikan untuk pengobatan bentuk kanker tertentu melalui stimulasi sistem imun pasien untuk menyerang sel yang memiliki antigen tumor permukaan.

4) Antibodi Monoklonal

Antibodi monoklonal merupakan protein yang sangat spesifik, dapat mengenali dan berikatan hanya kepada suatu antigen tunggal. Meskipun antibodi monoklonal awalnya dihasilkan pada mencit, saat ini terdapat kemungkinan

mengklon gen antibodi tersebut ke dalam *E. coli* menggunakan suatu vektor, lamdafaga, sehingga mikroorganisme akan menggantikan hewan dalam menghasilkan reagen berharga tersebut.

Antibodi monoklonal dikembangkan untuk beberapa tujuan, yaitu :

1. Untuk pengobatan kanker, mengantarkan senyawa kimia toksik kepada Sel tumor;
2. Untuk mengobati penyakit jantung, menghancurkan darah beku terkatalisistrombosit;
3. Untuk pengobatan penyakit infeksi tertentu.

Terdapat kemungkinan menggunakan DNA rekombinan untuk menghasilkan hibrid molekul antibodi yang mengandung bagian penggabung-antigen dari molekul antibodi seekor mencit, dan bagian sisanya bagian dari molekul antibodi manusia. Antibodi hibrid tersebut dibutuhkan untuk pengobatan karena kurang toksik jika dibandingkan dengan antibodi konvensional, dan menimbulkan efek samping berupa demam. Antibodi monoklonal juga digunakan dalam diagnosis klinik. Yang dijual secara langsung digunakan untuk uji kehamilan dan untuk diagnosis klinik pada penyakit manusia dan hewan.

5) Vaksin.

Vaksin merupakan suspensi mikroorganisme yang dimatikan atau dimodifikasi atau bagian spesifik yang diisolasi dan mikroorganisme yang ketika disuntikkan ke dalam hewan makan hewan tersebut akan menghasilkan imunitas terhadap penyakit tertentu. Paling sedikit satu vaksin rekombinan sudah dipasarkan dan sejumlah besar vaksin yang tersedia menunggu persetujuan FDA. Sebagian besar merupakan vaksin virus. Kepentingan vaksin rekombinan, pada kenyataannya untuk menggantikan suspensi virus yang dimatikan atau diinaktifkan. Protein virus terpenting, umumnya komponen yang sangat imunogen pada kapsid virus, dapat digunakan dalam dosis tinggi untuk mendatangkan imunitas tingkat tinggi dan cepat tanpa kemungkinan penularan infeksi. Saat ini sudah tersedia suatu rekombinan vaksin hepatitis B, juga sedang dilakukan pengujian pada vaksin untuk herpes manusia, cytomegalovirus, virus campak, dan rabies. Vaksin lain yang dikembangkan adalah beberapa vaksin untuk bakteri patogen, seperti kolera, clamydia, dan gonorrhe.

Beberapa perusahaan bioteknologi melakukan penelitian untuk vaksin AIDS yang efektif. Selanjutnya beberapa protein virus AIDS terpenting diidentifikasi sebagai vaksin AIDS potensial, tetapi tidak satupun vaksin rekombinan memberi peran pencegahan. Sejumlah keberhasilan dilaporkan untuk vaksin virus AIDS yang dimatikan, hal ini dilakukan pada simpanse yang diinfeksi dengan HIV, hasilnya dapat mencegah infeksi dan menstimulasi respon imun untuk menyerang HIV. Tetapi penggunaan vaksin tersebut pada manusia sehat dianggap terlalu berbahaya, sehingga hanya vaksin rekombinan yang dianggap aman.³¹

³¹ Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, Dasar-Dasar Mikrobiologi, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwidjoseputro, D. 2003. Dasar - Dasar Mikrobiologi. Djambatan. Jakarta.
- Garry. 2002. Tobacco Mosaic Virus. In: Plant disease Facts. Departemen of Plant Pathology. University of Pennsylvania State University. 152 Hal
- Hadioetomo, R. S. 1993. Mikrobiologi Dasar dalam Praktek : Teknik dan Prosedur Dasar Laboratorium. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 163 hal
- Lestari, Purwaning. 2017. Mikrobiologi Berbasis Inkuiri. Malang. Gunung Samudra.
- Madigan *et al.* 2017. Brock Biologi Mikroorganisme. 14th edition. Penerbit Buku kedokteran EGC
- Nurohaianah, 2007. Media . Jakarta : UI Press. 266 hal.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, Dasar-Dasar Mikrobiologi, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta.
- Pratiwi, T. Silvia . 2008. Mikrobiologi Farmasi. Yogyakarta. Erlangga.
- Radji, M. 2010. Mikrobiologi : Panduan Mahasiswa Farmasi dan Kedokteran. Jakarta : Penerbit Buku Kedokteran EGC
- Schlegel, H.G. dan K. Schmidh. *MikrobiologiUmum*, GadjahMada University press.,1994.
- Sumarsih, S., 2003. Mikrobiologi Dasar. Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Yogyakarta
- Suriawiria U. 2005. Mikrobiologi Dasar. Jakarta : Papas Sinar Sinanti.
- Waluyo, L. (2004). Mikrobiologi Umum. Malang: Universitas Muhammadiyah. Malang Press.